



Universidad
Politécnica
de Cartagena | Campus
de Excelencia
Internacional

TESIS DOCTORAL

**ESTUDIO DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE
PSEUDOMONAS FLUORESCENS EN LAS PROPIEDADES DEL
SUELO Y LA DINÁMICA DE NUTRIENTES EN LOS CULTIVOS
DE MAÍZ Y MELÓN**

**PROGRAMA DE DOCTORADO TECNOLOGÍA Y MODELIZACIÓN EN
INGENIERÍA CIVIL, MINERA Y AMBIENTAL**

Autor: Joaquín Ignacio Martínez Moreno

**Directores: Dra. María Dolores Gómez López y Dr. José Alberto
Acosta Avilés**

CARTAGENA 2020



**CONFORMIDAD DE SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE DEPÓSITO DE
TESIS DOCTORAL POR EL/LA DIRECTOR/A DE LA TESIS**

D^a. María Dolores Gómez López y D. José Alberto Acosta Avilés Directores de la Tesis doctoral "Estudio del efecto de la aplicación de *Pseudomonas Fluorescens* en las propiedades del suelo y la dinámica de nutrientes en los cultivos de melón y maíz"

INFORMAN:

Que la referida Tesis Doctoral, ha sido realizada por D Joaquín Ignacio Martínez Moreno, dentro del Programa de Doctorado "Tecnología y Modelización en Ingeniería Civil, Minera y Ambiental, dando nuestra conformidad para que sea presentada ante el Comité de Dirección de la Escuela Internacional de Doctorado para ser autorizado su depósito.

X Informe positivo sobre el plan de investigación y documento de actividades del doctorando emitido por el Director/ Tutor (**RAPI**).

La rama de conocimiento en la que esta tesis ha sido desarrollada es:

- ☐ Ciencias
- ☐ Ciencias Sociales y Jurídicas
- X Ingeniería y Arquitectura

En Cartagena, a 29 de noviembre de 2019

LOS DIRECTORES DE LA TESIS

MARIA
DOLORES|
GOMEZ|
LOPEZ|

Firmado digitalmente por MARIA DOLORES|GOMEZ|LOPEZ
Nombre de reconocimiento (DN): cn=MARIA DOLORES|GOMEZ|LOPEZ
serialNumber=XXXXXXXXXX
givenName=MARIA DOLORES
sn=GOMEZ LOPEZ
ou=Ciudadanos, o=ACCV, c=ES
Fecha: 2019.12.15 11:06:09 +01'00'

Fdo.: María Dolores Gómez López

JOSE ALBERTO|
ACOSTA|AVILES|

Firmado digitalmente por JOSE ALBERTO|ACOSTA|AVILES
Nombre de reconocimiento (DN): cn=JOSE ALBERTO|ACOSTA|AVILES,
serialNumber=XXXXXXXXXX, givenName=JOSE ALBERTO, sn=ACOSTA AVILES,
ou=Ciudadanos, o=ACCV, c=ES
Fecha: 2019.12.14 23:11:43 +01'00'

Fdo.: José Alberto Acosta Avilés

COMITÉ DE DIRECCIÓN ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

CONFORMIDAD DE DEPÓSITO DE TESIS DOCTORAL
POR LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL PROGRAMA

Ángel Faz Cano, Presidente de la Comisión Académica del Programa Tecnología y Modelización en Ingeniería Civil, Minera y Ambienta.

INFORMA:

Que la Tesis Doctoral titulada, "Estudio del efecto de la aplicación de *Pseudomonas Fluorescens* en las propiedades del suelo y la dinámica de nutrientes en los cultivos de melón y maíz", ha sido realizada, dentro del mencionado Programa de Doctorado, por D Joaquín Ignacio Martínez Moreno, bajo la dirección y supervisión de los Dres D^a. María Dolores Gómez López y D. José Alberto Acosta Avilés.

En reunión de la Comisión Académica, visto que en la misma se acreditan los indicios de calidad correspondientes y la autorización del Director/a de la misma, se acordó dar la conformidad, con la finalidad de que sea autorizado su depósito por el Comité de Dirección de la Escuela Internacional de Doctorado.

X Evaluación positiva del plan de investigación y documento de actividades por el Presidente de la Comisión Académica del programa (**RAPI**).

La Rama de conocimiento por la que esta tesis ha sido desarrollada es:

- ☐ Ciencias
- ☐ Ciencias Sociales y Jurídicas
- ☒ Ingeniería y Arquitectura

En Cartagena, a 12 de diciembre de 2019

EL PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA

**ANGEL
FAZ|CANO**
Fdo: Ángel Faz Cano

Firmado digitalmente por ANGEL
FAZ|CANO
Nombre de reconocimiento (DN):
cn=ANGEL|FAZ|CANO,
serialNumber=██████████
givenName=ANGEL, sn=FAZ
CANO, ou=CIUDADANOS, o=ACCV,
Fecha: 2019.12.12 01:41:01 +01'00'

COMITÉ DE DIRECCIÓN ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

*A mi mujer M^a Jesús y a mis hijos Sofía y Joaquín,
que sois lo mas importante de mi vida.*

Agradecimientos

Querría empezar agradeciendo a dos personas que ya no están conmigo, mis padres, Emilio y María. Ellos me dieron la vida y la educación para llegar a este punto. Gracias a su sacrificio, esfuerzo y apoyo siempre desinteresado.

Me gustaría agradecer a la Dra. M^a Dolores Gómez López y al Dr. José Alberto Acosta Avilés, mis directores, por sus consejos, por sus conocimientos y por dirigirme y acompañarme en esta tesis doctoral. También agradecer a mi tutor Dr. Ángel Faz Cano, por su sabiduría, apoyo y consejos. Gracias por todo lo que me habéis enseñado y gracias sobre todo por ser personas tan excepcionales.

Agradezco también a Dra. Melisa Gómez Garrido y Dra. Silvia Martínez Martínez, su trabajo, colaboración y apoyo.

Y por ultimo, agradecer a mi esposa y a mis hijos, por su comprensión y paciencia y por ser la razón de mi vida. Agradecer a mis hermanos Emilio y Gema M^a y a todos mis amigos por estar siempre ahí y animarme.

Resumen

En las últimas décadas, debido a la necesidad de aumentar la producción y la calidad de los cultivos, se ha hecho un uso abusivo tanto de la fertilización química como de pesticidas. Este abuso de agroquímicos ha llegado a causar un fuerte impacto ambiental en los suelos agrícolas, causando su degradación. En los últimos años, con el fin de reducir este impacto, han surgido nuevas técnicas biológicas de fertilización que ayuden a reducir el uso de insumos, sin que la producción y la calidad de las cosechas se vea afectada. Entre estas técnicas se encuentra el uso de fitofortificantes, productos basados en microorganismos que ayudan a la liberación de nutrientes y mejoran las condiciones de la rizosfera para un adecuado desarrollo de los cultivos. De este modo, el objetivo de esta tesis doctoral es el estudio del efecto de la aplicación de un fitofortificante (bacterias, *Pseudomonas fluorescens*) en las propiedades físico-químicas y microbiológicas del suelo, así como estudiar su efecto en el balance nutricional, la calidad y la producción del cultivo de melón y maíz. Para llevar a cabo este objetivo se realizaron distintos ensayos de campo (tanto en parcelas experimentales, como en explotaciones comerciales) y de laboratorio (estudios de lixiviación en columnas de suelo), tomando muestras de suelo a las cuales se le analizaron tanto propiedades, constituyentes y macro y micronutrientes, como carbono de la biomasa microbiana, respiración basal y actividades enzimáticas implicadas en los ciclos de nutrientes. También se muestreó material vegetal para evaluar su concentración en nutrientes, así como frutos para evaluar calidad y producción. Los resultados han mostrado que la aplicación del fitofortificante favorece la liberación de macronutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno, aunque también se ha visto una cierta liberación de micronutrientes, como hierro y zinc. De igual modo, tanto la cantidad de microorganismos como las actividades enzimáticas implicadas en la dinámica de carbono, nitrógeno y fósforo se han visto incrementadas tras la aplicación del fitofortificante. Finalmente, destacar que para ambos cultivos (maíz y melón) se ha producido un incremento en producción, sin que la calidad se haya visto afectada. No obstante, y a pesar de que los resultados obtenidos han sido positivos, sería recomendable repetir el ensayo en campo bajo condiciones de manejo comerciales y durante varios ciclos de cultivo con el fin de corroborar los resultados obtenidos.

Abstract

During the last decades, in order to increase crop production and quality, an abusive use of both chemical fertilization and pesticides has taken place. This uncontrolled use of agrochemicals are causing a strong environmental impact on agricultural soils, and therefore their degradation. In the last years, in order to reduce this impact, new biological fertilization techniques have emerged, which help reduce the use of inputs, without the production and quality of the crops being affected. Among these techniques, highlights the use of phyto-fortifiers, products based on microorganisms that help the release of nutrients and improve the rhizosphere conditions for proper crop development. Thus, the objective of this doctoral thesis is to study the effect of the application of a phyto-fortifier (bacteria, *Pseudomonas fluorescens*) on the physicochemical and microbiological properties of soil, as well as to study its effect on nutritional balance, quality and yield of the melon and maize crops. To achieve this objective, different field tests (both in experimental plots, and in commercial farms) and laboratory tests (leaching studies in soil columns) were carried out. Soil, plant and fruit samples were collected, and soil properties, constituents and macro and micronutrients, such as microbial biomass carbon, basal respiration and soil enzymatic activities involved in nutrient cycles were analysed. In addition, plant nutrients were determined and, quality and production assessed. The results shown that the application of the phyto-fortifier enhances the release of macronutrients, especially phosphorus and nitrogen, although a certain release of micronutrients, such as iron and zinc, has also been reported. Similarly, both the amount of microorganisms and the enzymatic activities involved in the dynamics of carbon, nitrogen and phosphorus cycles were increased after the application of the phyto-fortifier. Finally, highlight that for both crops (maize and melon) an increase in production, without the quality being affected was observed. However, and although the results obtained have been positive, it would be advisable to repeat the test in the field under commercial management conditions and during several crop cycles in order to corroborate these results.

Índice

Agradecimientos.....	5
Resumen.....	7
Abstract.....	9
1. Introducción.....	13
2. Objetivos.....	19
3. Efecto del fitofortificante en las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo: balance nutricional, calidad y producción de melón y maíz.....	23
3.1. Objetivos específicos.....	25
3.2. Material y métodos.....	25
3.3. Resultados y discusión.....	35
3.4. Conclusiones.....	124
4. Efecto del fitofortificante en las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo rizosférico y no rizosférico: balance nutricional, calidad y producción de melón y maíz.....	137
4.1. Objetivos específicos.....	139
4.2. Material y métodos.....	139
4.3. Resultados y discusión.....	147
4.4. Conclusiones.....	196
5. Efecto de la dosis de aplicación del fitofortificante en la lixiviación de nutrientes.....	205
5.1. Objetivos específicos.....	207
5.2. Material y métodos.....	207
5.3. Resultados y discusión.....	209
5.4. Conclusiones.....	240
6. Efecto del fitofortificante en la producción y calidad del cultivo de melón bajo condiciones de cultivo comerciales.....	243
6.1. Objetivos específicos.....	245

6.2. Material y métodos.....	245
6.3. Resultados y discusión.....	250
6.4. Conclusiones.....	276
7. Conclusiones generales.....	279
7.1. Efecto del fitofortificante en las propiedades del suelo y la producción...	281
7.2. Efecto del fitofortificante en las propiedades edáficas del suelo rizosférico..	
.....	282
7.3. Efecto de la dosis de fitofortificante en la lixiviación de nutrientes.....	283
7.4. Efecto del fitofortificante en la producción y calidad del cultivo de melón	
bajo condiciones de cultivo comerciales.....	284
8. Referencias.....	285

Anexo Fotográfico

1. Introducción

1. Introducción

Problemática medioambiental de la fertilización química

Tras la Segunda guerra mundial (finales de 1945), se buscó una manera para producir alimentos en suficiente cantidad para abastecer a la población mundial. Surgió en esta época en Estados Unidos la llamada Revolución Verde; un modelo de agricultura intensiva cuya finalidad era aumentar el rendimiento de los cultivos empleando los monocultivos e insumos agrícolas como los fertilizantes químicos, plaguicidas y herbicidas.

Hoy en día, es un hecho que el abuso y la mala utilización de los agroquímicos tienen efectos nocivos tanto para la salud de las personas como para el medio ambiente. Es por tanto, el exceso de fertilizantes y productos químicos una de las causas de contaminación ambiental. Una de las fuentes más importantes por contaminación de fertilizantes es la contaminación por exceso de fertilizantes nitrogenados.

El problema ambiental más importante relativo al nitrógeno es la acumulación de nitratos en el subsuelo, que por acción de la lixiviación pueden incorporarse a las aguas subterráneas o ser arrastrados hacia cauces y reservorios superficiales por escorrentía. En estos medios, los nitratos pueden llegar a ocasionar la eutrofización de las aguas, disminuyendo la capacidad autodepuradora del medio y mermando la capacidad fotosintética de los organismos acuáticos.

De igual modo, diversos estudios han demostrado que la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos afecta a grandes zonas, y que las más afectadas por ello son en las que se practica una agricultura intensiva, debido a los altos aportes de fertilizantes y elevadas cantidades de agua de riego. El principal inconveniente de esta contaminación, además de afectar de una manera acusada al medio ambiente, es el efecto de los nitratos sobre la salud. Los nitratos en el organismo humano ejercen una acción cancerígena y efectos adversos sobre glándulas hormonales.

En cuanto a contaminación por fertilización química también destaca la causada por fertilizantes fosforados. El principal problema de los fosfatos es, como en el caso del nitrógeno, la eutrofización de las aguas siendo la mayor fuente de contaminación de masas de agua.

Es por ello que el cambio de modelo de agricultura, encaminado a una agricultura sostenible es de vital importancia en el mundo actual, ya que ofrece el potencial para satisfacer nuestras necesidades agrícolas, algo que la agricultura convencional no lo hace (Esitken *et al.*, 2005; Bhattacharyya and Jha, 2012). Este tipo de agricultura utiliza unas técnicas de cultivo especiales en el que los recursos del medio

ambiente pueden utilizarse plenamente y, al mismo tiempo, garantizar que ningún efecto dañino tenga lugar. Una de esas técnicas se basa en el uso de microorganismos ya que las poblaciones microbianas son fundamentales para los procesos que impulsan la estabilidad y la productividad de los ecosistemas agrícolas. Estos microorganismos favorecen el crecimiento de las plantas por la producción de fitohormonas, la solubilización de fosfatos inorgánicos, la absorción de N, el aumento en la asimilación de hierro, incrementando los rendimientos, e induciendo una resistencia sistémica en plantas contra un amplio espectro de patógenos foliares y de raíz (Boddey *et al.*, 1995; Dobbelaere *et al.*, 2003).

Ventajas de la fertilización biológica: aplicación de microorganismos

En condiciones naturales, las plantas pueden extraer del suelo todos los nutrientes que necesitan. Sin embargo, la intensificación de la agricultura ha llevado al empobrecimiento del suelo, por lo que se hace necesario un aporte extra de nutrientes para que las plantas puedan llevar a cabo su ciclo.

No obstante, como se ha comentado anteriormente, el uso masivo de fertilizantes químicos ha llevado en algunas ocasiones a una situación de contaminación del agroecosistema, por lo que, se hace necesario buscar alternativas respetuosas con el medio ambiente para llevar a cabo la fertilización.

Una de las alternativas que se proponen es la fertilización biológica. La biofertilización microbiana consiste en el uso de microorganismos beneficiosos para mejorar las condiciones del suelo y obtener mayores rendimientos en los cultivos sin contaminar el medio ambiente.

El uso de biofertilizantes en la agricultura tiene dos ventajas principales: una ecológica y otra económica. En cuanto a la ventaja ecológica, los microorganismos utilizados para la fertilización biológica no son contaminantes ya que conservan el suelo desde el punto de vista de la fertilidad y la biodiversidad. La fertilización biológica es más económica en cuanto a su producción, por lo que también lo es su comercialización; como consecuencia su precio es más bajo que el de los fertilizantes químicos, con lo cual es posible reducir costes de producción en la explotación agrícola.

Los abonos biológicos están basados en microorganismos que promueven y benefician la nutrición y el crecimiento de las plantas. Son microorganismos del suelo – generalmente hongos y bacterias- que se asocian de manera natural a las raíces de las plantas (Yang *et al.*, 2009). Estos microorganismos pueden facilitar de manera directa o indirecta la disponibilidad de determinados nutrientes como el nitrógeno, fósforo o el

agua. Además producen fitohormonas que son sustancias promotoras del crecimiento vegetal.

La acción fitosanitaria de los biofertilizantes es también significativa. La aplicación de éstos produce una colonización de microorganismos útiles que compiten efectivamente contra patógenos del suelo.

Los biofertilizantes se presentan, por tanto, como una alternativa más respetuosa a la fertilización química tradicional, pudiendo ser complementaria o sustitutiva parcialmente de la misma.

En los últimos 10 años se han desarrollado numerosas formulaciones de biofertilizantes y biopesticidas (Kavino *et al.*, 2007; Saravanakumar y Samiyappan, 2007; Harish *et al.*, 2009ab) que contienen microorganismos eficientes, para mejorar el crecimiento de plantas, potenciando el crecimiento del cultivo. Estos microorganismos proceden de la rizosfera y son rizobacterias (PGPR, plant growth promoting rhizobacteria) y cianobacterias, que en definitiva son microbios que producen sustancias bioactivas para promover el crecimiento de la planta y/o protegerlos contra los patógenos (Glick, 1995; Core, 2005; Harish *et al.*, 2009a; Fu *et al.*, 2017). Sin embargo, tal y como se puede ver en la revisión sobre microorganismos efectivos y su efecto sobre la producción vegetal de Olle y Willians (2013) es de vital importancia evaluar el efecto para cada cultivo y valorar la calidad de fruto resultante de su uso, dependiendo esta respuesta en gran medida de las propiedades iniciales del suelo. Es por ello que esta tesis evalúa el efecto en suelos sobre cultivo de melón y maíz.

Legislación existente relacionada con la aplicación de fertilización biológica

A efectos del Reglamento (CE) nº 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003 relativo a los abonos y del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, se entiende por abono o fertilizante aquel material cuya función principal es proporcionar elementos nutrientes a las plantas.

Sin embargo, esta legislación no recoge las condiciones de la fertilización biológica, denominándolos como fitofortificantes, los cuales quedan regulados en la Ley 43/2002, de 20 de noviembre, de sanidad vegetal. Dicha ley, regula en el capítulo IV de su Título II la comercialización y utilización de los organismos de control biológico y demás medios de defensa fitosanitaria.

Las normas que regulan los productos fitosanitarios, cada vez más exigentes y restrictivas, y la progresión de la agricultura ecológica, determinan la importancia de

estos otros medios para el control o la mitigación de los daños que pueden producir las plagas en los cultivos.

Por otra parte existen productos, como las feromonas, que pueden mejorar de distintas formas la eficiencia de las actividades fitosanitarias, u otros que pueden favorecer que los cultivos desarrollen vigor o tolerancia frente a patógenos o a condiciones ambientales adversas como los fortificantes o fitofortificantes. Éstos anteriormente estaban catalogados como fertilizantes, pero con la entrada en vigor del Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes, han quedado excluidos de esta normativa.

La bacteria usada en el estudio, *Pseudomonas fluorescens*, está al amparo de esta ley, considerada como un producto para la protección de cultivos. Destacar que hoy en día no existe legislación que trate estos fitofortificantes como abonos biológicos por sí mismos.

2. Objetivos

2. Objetivos

Objetivo general

El objetivo global de esta tesis es el estudio del efecto de la aplicación de un fitofortificante (bacterias, *Pseudomonas fluorescens*) en las propiedades del suelo así como estudiar su efecto en el balance nutricional, la calidad y la producción del cultivo de melón y maíz.

Objetivos específicos

Los objetivos específicos de esta tesis doctoral corresponden con los distintos capítulos en los que se divide la misma, siendo estos los siguientes:

- Efecto de la aplicación de un fitofortificante (bacterias, *Pseudomonas fluorescens*) en la evolución tanto de las **propiedades físico-químicas y microbiológicas/bioquímicas del suelo** así como estudiar su efecto en el balance nutricional, la calidad y la producción del cultivo de melón y maíz.
- Efecto de la aplicación de un fitofortificante (bacterias, *Pseudomonas fluorescens*) tanto en las propiedades físico-químicas como microbiológicas/bioquímicas de **suelo rizosférico y no rizosférico** implicadas en la dinámica de nutrientes en el sistema suelo-planta, así como su efecto en la calidad y producción del cultivo de melón y maíz.
- Efecto de la aplicación de un fitofortificante (bacterias, *Pseudomonas fluorescens*) **a distintas dosis en la disponibilidad de nutrientes** del suelo del cultivo de melón y de maíz de Yechar mediante ensayos en columnas.
- Efecto de la aplicación de un fitofortificante (*Pseudomonas fluorescens*) en las propiedades físico-químicas y microbiológicas/bioquímicas del **suelo rizosférico** implicadas en la dinámica de nutrientes en el sistema suelo-planta, así como su efecto en la calidad y producción del cultivo de melón **a escala comercial**.

3. Efecto del fitofortificante en las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo: balance nutricional, calidad y producción de melón y maíz

3. Efecto del fitofortificante en las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo: balance nutricional, calidad y producción de melón y maíz

3.1. Objetivos

Objetivo general

El objetivo de este capítulo es el estudio del efecto de la aplicación de un fitofortificante (bacterias, *Pseudomonas fluorescens*) en la evolución tanto de las propiedades físico-químicas y microbiológicas/bioquímicas del suelo así como estudiar su efecto en el balance nutricional, la calidad y la producción del cultivo de melón (Yechar) y maíz (Yechar y Córdoba).

Los objetivos específicos son:

1. Estudio de la evolución de las propiedades físico-químicas del suelo.
2. Estudio de la evolución de las propiedades microbiológicas/bioquímicas del suelo.
3. Estudio del efecto de la aplicación del fitofortificante en el balance nutricional.
4. Análisis de los parámetros de calidad y producción de los cultivos.

3.2. Material y métodos

Cultivo de melón

Zonas de estudio

La zona de estudio se localiza en Yechar (Región de Murcia), en una parcela de 4,37 ha destinada al cultivo de melón piel de sapo, donde se ha seleccionado la parte central de la misma para la localización de las parcelas experimentales (Figura 3.1), la parcela consta de un cabezal de riego donde se realiza el abonado mediante fertirrigación.



Figura 3.1. Localización de la parcela experimental

El clima de la zona presenta una precipitación media anual de 293 mm y una temperatura media anual de 16 °C (serie histórica 1998-2014), cuya distribución para el año 2014, año del ensayo, se puede observar en la Figura 3.2. Destacar que durante el periodo de cultivo (desde el 3 de Junio hasta el 4 de septiembre 2014) se produjo una única precipitación de 4 mm y las temperaturas alcanzaron máximos de 29,5 °C; con un valor medio de 25,5 °C.

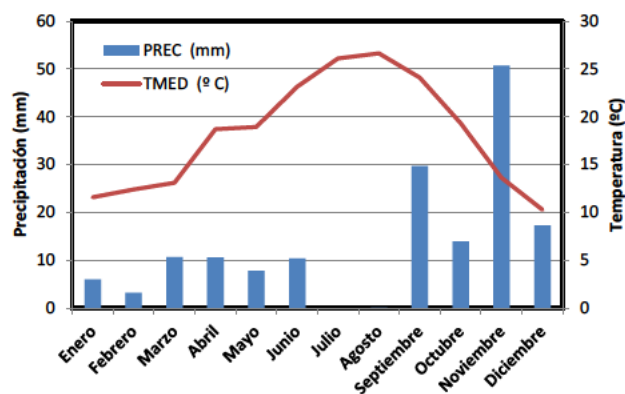


Figura 3.2. Climatograma de la zona de estudio

Diseño experimental

El diseño experimental en campo consistió en la construcción de 6 parcelas experimentales de 50 m² cada una, las cuales fueron establecidas el 11 de junio de 2014. En tres de ellas se aplicó el fitofortificante a una dosis recomendada de 1 kg/ha y otras tres se dejaron como control, donde no se llevó a cabo ningún tratamiento (Figura 3.3).



Figura 3.3. Esquema y localización de las parcelas experimentales

La implantación del cultivo tuvo lugar el 3 de Junio de 2014, y la aplicación del fitofortificante el 12 de junio de 2014, todas las parcelas recibieron los tratamientos convencionales de fertilización y control fitosanitario, siendo el 1º corte el 14 de agosto de 2014, el 2º corte el 21 de agosto de 2014 y el 3º corte el 4 de septiembre de 2014.

Muestreos de suelo, planta y frutos

Muestreo de suelos

Para la caracterización físico-química se realizó un muestreo al inicio del cultivo (3 de junio de 2014), antes de la aplicación del fitofortificante, y uno al final, después del último corte de recolección (3º corte, 4 de septiembre de 2014). Por lo tanto el número de muestras para la caracterización físico-química de suelos fue: 6 parcelas x 1 muestra/parcela x 2 muestreos = 12 muestras de suelo.

Para la caracterización microbiológica/bioquímica y nutricional además de los muestreos inicial y final descritos anteriormente, se realizaron muestreos tanto al mes de la aplicación del fitofortificante (12 de julio de 2014), como después del 1º y 2º corte de recolección (14 y 21 de agosto de 2014, respectivamente). Por lo tanto, para el análisis microbiológico/bioquímico y nutricional el número de muestras fue de: 6 parcelas x 1 muestra/parcela x 5 muestreos = 30 muestras de suelo.

Cada una de las muestras de suelo tomadas en cada uno de los muestreos que se realizaron y en cada parcela experimental, estaba compuesta por 5 sub-muestras cogidas a una profundidad de 0-30 cm.

Muestreo de material vegetal

En cada una de las parcelas experimentales se seleccionaron 3 plantas de melón en las que no se observaron síntomas de carencias nutricionales, fisiopatías y/o enfermedades, de las cuales se tomó el material vegetal suficiente para realizar los análisis de laboratorio, ya sea hoja o fruto.

El material vegetal de cada parte del cultivo muestreada (hoja o fruto) en cada una de las parcelas de ensayo fue mezclado y homogeneizado para su análisis, con lo que se tuvieron 3 muestras de cada una de las partes del cultivo por tratamiento.

Este muestreo se realizó tanto al mes de la aplicación como en cada uno de los tres cortes de recolección realizados. Por lo tanto, el número de muestras para el análisis nutricional del cultivo fue de: 6 parcelas x 1 muestra/parcela x 2 órganos/planta x 4 muestreos = 48 muestras de material vegetal.

Muestreo de frutos para calidad y producción

Para el análisis de calidad se tomaron al azar 8 frutos en cada una de las parcelas experimentales en cada uno de los cortes, por lo que se tuvieron 24 frutos por tratamiento y corte. Dando un total de 144 frutos analizados para evaluar la calidad del cultivo.

Por su parte, la producción se determinó tanto por el número de frutos recolectados como por el peso total recolectado, tanto por parcela como por tratamiento.

Cultivo de maíz en Yechar

Zona de estudio

La zona de estudio se localiza en Yechar (Región de Murcia), en una finca experimental, donde se ha seleccionado una parte de ésta para la localización de las parcelas de estudio (Figura 3.4), la finca consta de un cabezal de riego donde se realiza el abonado mediante fertirrigación. El clima de la zona es el mismo que el expuesto para las parcelas del ensayo de melón.



Figura 3.4. Localización de la parcela experimental

Diseño experimental

El diseño experimental en campo consistió en la construcción de 6 parcelas experimentales de 50 m² cada una, las cuales fueron establecidas el 11 de junio de 2014. En tres de ellas se aplicó el fitofortificante a una dosis recomendada de 1 kg/ha y otras tres se dejaron como control, donde no se llevó a cabo ningún tratamiento (Figura 3.5).



Figura 3.5. Esquema y localización de las parcelas experimentales

La implantación del cultivo tuvo lugar el 3 de Junio de 2014, y la aplicación del fitofortificante el 12 de junio de 2014, todas las parcelas recibieron los tratamientos convencionales de fertilización (abonado de fondo con 15-15-15 NPK, y abonado en cobertera de 600 l/ha de N32 líquido) y control fitosanitario, siendo la recolección el 24 de octubre de 2014.

Muestreos de suelos, planta y frutos

Muestreo de suelos

Para la caracterización físico-química se realizó un muestreo al inicio del cultivo (11 de junio de 2014), antes de la aplicación del fitofortificante, y uno al final, después de la recolección (24 de octubre de 2014). Por lo tanto el número de muestras para la caracterización físico-química de suelos fue: 6 parcelas x 1 muestra/parcela x 2 muestreos = 12 muestras de suelo.

Para la caracterización microbiológica/bioquímica y nutricional además de los muestreos inicial y final descritos anteriormente, se realizaron muestreos tanto 25 de julio de 2014, como el 9 de septiembre de 2014. Por lo tanto, para el análisis microbiológico/bioquímico y nutricional el número de muestras fue de: 6 parcelas x 1 muestra/parcela x 4 muestreos = 24 muestras de suelo.

Cada una de las muestras de suelo tomadas en cada uno de los muestreos que se realizaron y en cada parcela experimental, estaba compuesta por 5 sub-muestras cogidas a una profundidad de 0-30 cm.

Muestreo de material vegetal

En cada una de las parcelas experimentales se seleccionaron 3 plantas de maíz en las que no se observaron síntomas de carencias nutricionales, fisiopatías y/o enfermedades, de las cuales se tomó el material vegetal suficiente para realizar los análisis de laboratorio, ya sea hoja o mazorca.

El material vegetal de cada parte del cultivo muestreada (hoja o grano) en cada una de las parcelas de ensayo fue mezclado y homogeneizado para su análisis, con lo que se tuvieron 3 muestras de cada una de las partes del cultivo por tratamiento.

Este muestreo se realizó tanto en los dos muestreos intermedios (25 de julio de 2014 y 9 de septiembre de 2014) como al final de la recolección (24 de octubre de 2014) Por lo tanto, el número de muestras para el análisis nutricional del cultivo fue de: 6 parcelas x 1 muestra/parcela x 2 órganos/planta x 3 muestreos = 36 muestras de material vegetal.

Muestreo de mazorcas para calidad y producción

Para el análisis de calidad se tomaron al azar 15 mazorcas en cada una de las parcelas experimentales al final del cultivo, por lo que se tuvieron 45 mazorcas por tratamiento. Dando un total de 90 mazorcas analizadas para evaluar la calidad del cultivo.

Cultivo de maíz en Córdoba

Zona de estudio

La zona de estudio se localiza en Córdoba (Andalucía), en una finca comercial, donde se ha seleccionado una parte de esta para la localización de las parcelas experimentales (Figura 3.6.), la finca consta de un cabezal de riego donde se realiza el abonado mediante fertirrigación.



Figura 3.6. Localización de la parcela experimental

Diseño experimental

El diseño experimental en campo consistió en la construcción de 6 parcelas experimentales de 50 m² cada una, las cuales fueron establecidas el 20 de mayo 2014. En tres de ellas se aplicó el fitofortificante a una dosis recomendada de 1 kg/ha y otras tres se dejaron como control, donde no se llevó a cabo ningún tratamiento (Figura 3.7.).



Figura 3.7. Esquema y localización de las parcelas experimentales

La implantación del cultivo tuvo lugar el 30 de abril de 2014, y la aplicación del fitofortificante el 22 de mayo de 2014, todas las parcelas recibieron los tratamientos convencionales de fertilización y control fitosanitario, siendo la recolección el 3 de septiembre de 2014.

Muestreos de suelos, planta y frutos

Muestreo de suelos

Para la caracterización físico-química se realizó un muestreo al inicio del cultivo (20 de mayo de 2014), antes de la aplicación del fitofortificante, y uno al final, después de la recolección (3 de septiembre de 2014). Por lo tanto el número de muestras para la caracterización físico-química de suelos fue: 6 parcelas x 1 muestra/parcela x 2 muestreos = 12 muestras de suelo.

Para la caracterización microbiológica/bioquímica y nutricional además de los muestreos inicial y final descritos anteriormente, se realizó un muestreo intermedio el 22 de julio de 2014. Por lo tanto, para el análisis microbiológico/bioquímico y nutricional el número de muestras fue de: 6 parcelas x 1 muestra/parcela x 3 muestreos = 18 muestras de suelo.

Cada una de las muestras de suelo tomadas en cada uno de los muestreos que se realizaron y en cada parcela experimental, estaba compuesta por 5 sub-muestras cogidas a una profundidad de 0-30 cm.

Muestreo de material vegetal

En cada una de las parcelas experimentales se seleccionaron 3 plantas de maíz en las que no se observaron síntomas de carencias nutricionales, fisiopatías y/o enfermedades, de las cuales se tomó el material vegetal suficiente para realizar los análisis de laboratorio, ya sea hoja o mazorca.

El material vegetal de cada parte del cultivo muestreada (hoja o mazorca) en cada una de las parcelas de ensayo fue mezclado y homogeneizado para su análisis, con lo que se tuvieron 3 muestras de cada una de las partes del cultivo por tratamiento.

Este muestreo se realizó en el muestreo intermedio (22 de julio de 2014). Por lo tanto, el número de muestras para el análisis nutricional del cultivo fue de: 6 parcelas x 1 muestra/parcela x 2 órganos/planta x 1 muestreos = 12 muestras de material vegetal.

Análisis de laboratorio para melón y maíz

Análisis de suelo

Unas vez las muestras fueron llevadas al laboratorio, éstas fueron secadas en una estufa con ventilación forzada a 30°C durante 48-72h, posteriormente fueron tamizadas con un tamiz de diámetro de luz de 2 mm, y una fracción de suelo fue molida en mortero de ágata.

Los análisis físico-químicos realizados fueron los siguientes:

- Acidez del suelo, pH del extracto 1:1 (Peech, 1965).
- Salinidad, conductividad eléctrica del extracto 1:5 (Andrades, 1996).
- Aniones solubles: sulfatos, cloruros, fosfatos y nitratos (Cromatografía iónica).
- Cationes solubles: calcio, magnesio, sodio y potasio (Cromatografía iónica).
- Carbono inorgánico, carbonatos (Elemental Analysis LECO CHNS).
- Carbono orgánico total. (Elemental Analysis LECO CHNS).
- Capacidad de intercambio catiónico (Chapman, 1965).
- Análisis granulométrico (FAO-ISRIC, 2006).

Los análisis microbiológicos/bioquímicos realizados fueron los siguientes:

- Carbono de la biomasa microbiana (indicador de biomasa microbiana total) determinado por el método de fumigación-extracción (Vance *et al.*, 1987).
- La respiración basal (medida de la actividad microbiana) se monitoriza durante 4 días a 55% de la capacidad de campo y 25°C en botes sellados conteniendo un vial con NaOH para absorber el CO₂ (Anderson, 1982)
- Actividad β-glucosidasa (Tabatabai, 1982)
- Actividad fosfatasa (Tabatabai y Bremner, 1969)
- Actividad ureasa (Nannipieri *et al.*, 1978; Kandeler *et al.*, 1999).

Los elementos determinados para el análisis nutricional fueron los siguientes:

- Nitrógeno total (Analizador Elemental, LECO CHNS).
- Fósforo asimilable (Watanabe y Olsen, 1965).
- Cationes intercambiables: potasio, calcio, magnesio y sodio (Roig *et al.*, 1980).
- Oligoelementos asimilables: hierro, cobre, zinc y manganeso (Linsay y Norvell, 1978).

Cálculo de los siguientes índices o ratios:

- Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)
- Ratio Ca/Mg
- Ratio K/Mg

Análisis de material vegetal

El material vegetal muestreado, una vez en el laboratorio, fue lavado con agua destilada y secado en estufa con ventilación de aire forzado durante 24 h a 60 °C, posteriormente fue molido para proceder a su análisis. Los elementos determinados para el análisis nutricional del cultivo fueron los siguientes:

- Nitrógeno (Analizador Elemental, LECO CHNS).
- Fósforo (USEPA, 1996).
- Potasio, calcio, magnesio y sodio (USEPA, 1996).
- Hierro, cobre, zinc y manganeso (USEPA, 1996).

Análisis de frutos para determinar calidad y producción de melón:

Los parámetros que se evaluaron para determinar la calidad de los frutos fueron los siguientes:

- Peso.
- Diámetro axial y ecuatorial.
- Forma del fruto.
- Grosor de la pulpa.
- Grosor de la corteza.
- Firmeza de la pulpa.
- Grados Brix.

Análisis de mazorcas para determinar calidad y producción:

Los parámetros que se evaluaron para determinar la calidad de las mazorcas fueron los siguientes:

- Peso.
- Longitud.
- Diámetro.
- Número de granos por línea.
- Número de granos total.
- Peso de grano.
- Porcentaje de almidón.
- Porcentaje de proteína.

3.3. Resultados y discusión

Cultivo de melón

Propiedades físico-químicas del suelo

Acidez del suelo (pH)

El valor de pH de una solución está definido como la concentración de hidrógenos expresado en logaritmo negativo de base 10. Dicho de otro modo, la acidez de un suelo depende de la concentración de hidrogeniones (H^+) en la solución del suelo. Es uno de los parámetros de más influencia en los procesos edáficos y en la biodisponibilidad de los nutrientes en el suelo.

En la Figura 3.8. se presentan los valores de pH tanto antes como al finalizar el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede observar el pH de estos suelos en todas las parcelas estudiadas es moderadamente alcalino con valores cercanos a 8 (Porta *et al.*, 1999), lo cual se debe al alto contenido en carbonatos como se verá posteriormente. No se observa ninguna variación significativa entre tratamientos, ni entre las muestras tomadas antes y después del cultivo.

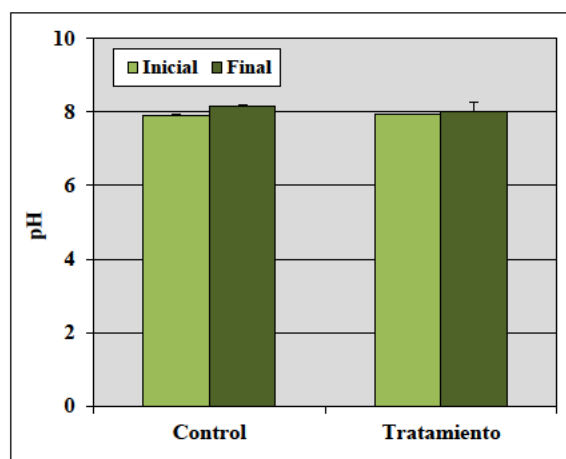


Figura 3.8. pH en las parcelas experimentales

Salinidad (conductividad eléctrica)

La salinidad viene determinada por el contenido en sales solubles de un suelo y es un parámetro fundamental en la productividad de los cultivos. La conductividad eléctrica es la magnitud que se utiliza para caracterizar el grado de salinidad de un suelo, ya que está directamente relacionada con la concentración de iones en disolución.

En la Figura 3.9. se presentan los valores de conductividad eléctrica tanto antes como al finalizar el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante.

Antes del cultivo, la salinidad de las parcelas estudiadas es baja con valores cercanos a $750\text{--}850\ \mu\text{S cm}^{-1}$, por lo que la zona no tiene problemas de salinidad, no esperándose ninguna reducción en la productividad por esta causa.

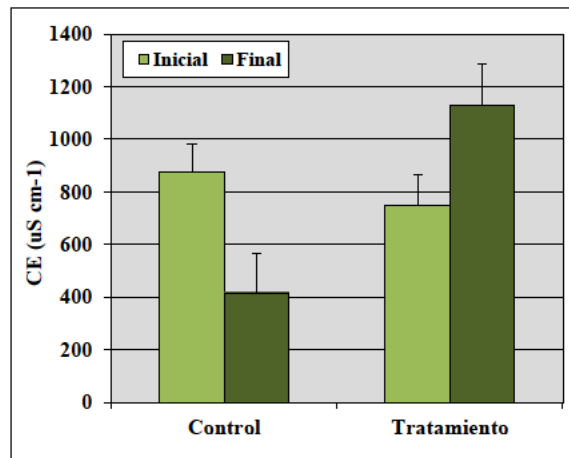


Figura 3.9. Conductividad eléctrica en las parcelas experimentales

Sin embargo, se puede observar que en las parcelas tratadas con el fitofortificante la salinidad aumenta significativamente, pasando de valores cercanos a $750\ \mu\text{S cm}^{-1}$ a valores superiores a $1100\ \mu\text{S cm}^{-1}$. Por el contrario, en las parcelas control la salinidad disminuye a valores cercanos a $400\ \mu\text{S cm}^{-1}$. Estos resultados indican que en las parcelas control se ha producido un lavado de sales solubles durante el cultivo, posiblemente debido al proceso de lixiviación, mientras que en las parcelas tratadas esta lixiviación ha sido impedida, produciéndose una acumulación de las mismas, aspecto que debe de ser estudiado en detalle para conocer con certeza los procesos que favorecen esta acumulación.

Aniones solubles

Los aniones solubles, junto con los cationes presentes en la solución del suelo, son los responsables de la salinidad del mismo. Como se puede apreciar en la Figura 3.10, antes del cultivo las concentraciones de cloruros y nitratos son semejantes en las parcelas control y en las parcelas tratadas, por el contrario en el caso de los nitritos y fosfatos estos son ligeramente superiores en las parcelas tratadas, finalmente los sulfatos son superiores en las parcelas control.

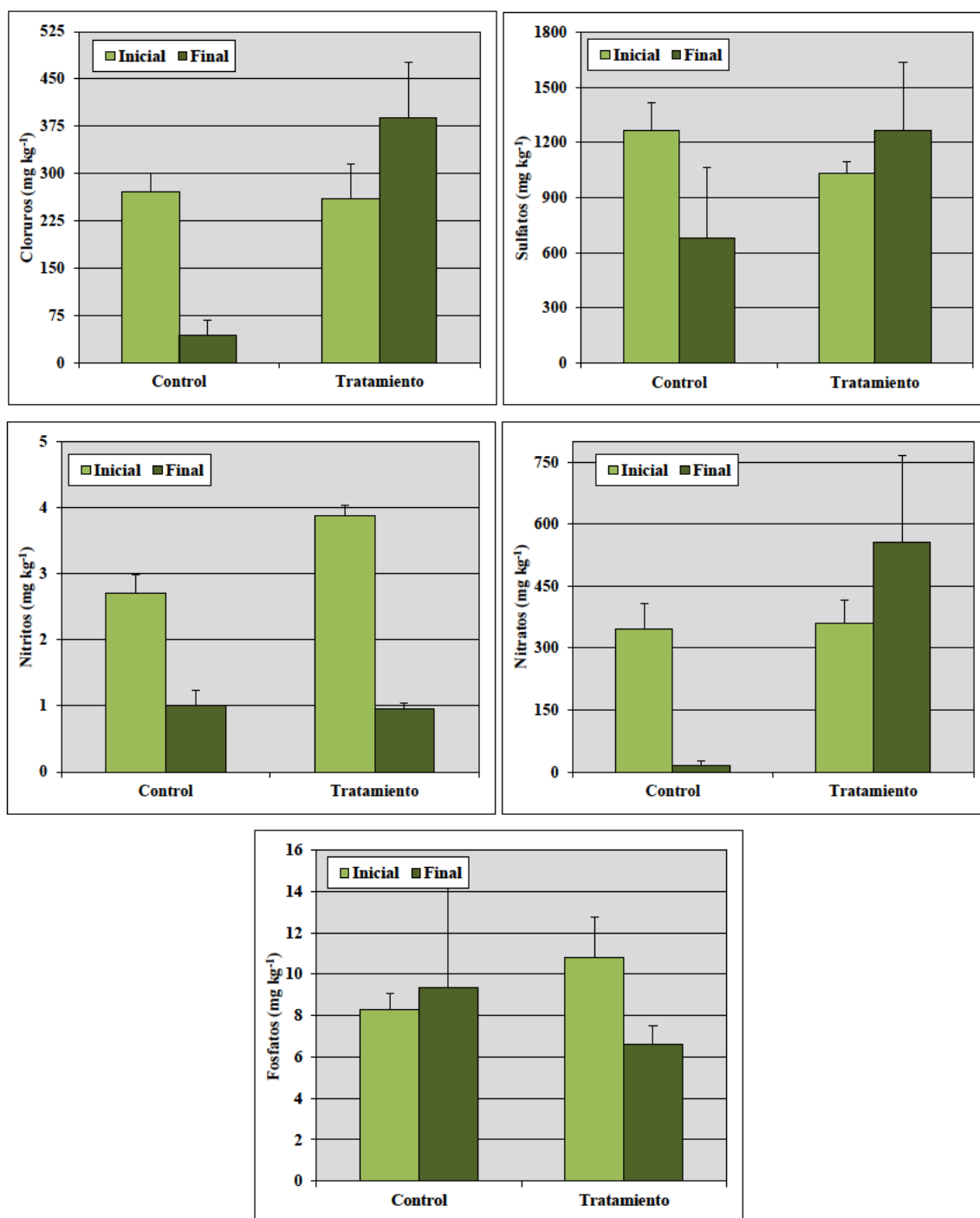


Figura 3.10. Aniones solubles en las parcelas experimentales

Una vez transcurrido el cultivo, se produce un incremento de sulfatos, cloruros y nitratos en las parcelas tratadas, mientras que en las parcelas control estos aniones disminuyen. La pérdida de aniones en las parcelas control, como ya ha sido comentado, puede ser debida al proceso de lixiviación durante la aplicación de agua de riego, por el contrario, la acumulación de estos aniones en las parcelas tratadas indica que esta lixiviación ha sido impedida, lo que ha generado una acumulación de sales en el suelo.

Cationes solubles

En el caso de los cationes solubles todos ellos presentaron valores semejantes antes del cultivo en ambos tratamientos (Figura 3.11.). Por el contrario, y siguiendo con el mismo patrón encontrado con los aniones, las concentraciones de calcio, magnesio y sodio se incrementaron en las parcelas tratadas, mientras que disminuyeron por el efecto de la lixiviación en las parcelas control.

Por su parte, el potasio soluble se mantuvo constante en las parcelas control mientras que disminuyó en las tratadas, indicando que posiblemente el fitofortificante favorezca la movilidad de este elemento en el suelo.

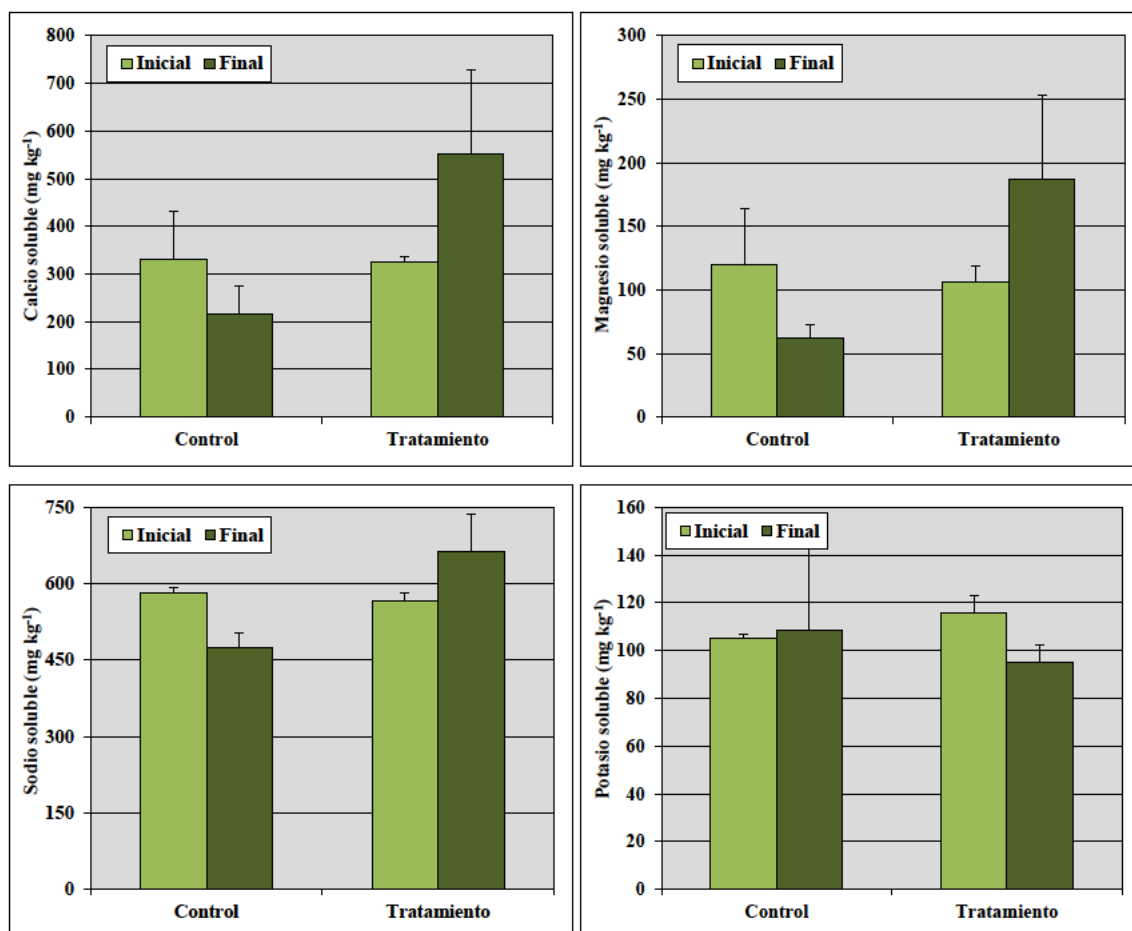


Figura 3.11. Cationes solubles en las parcelas experimentales

Carbono inorgánico (carbonatos)

El contenido de carbonatos en suelos incluye de forma importante en la asimilabilidad de determinados elementos como el fósforo, manganeso, hierro y boro, siendo uno de los principales responsable de la clorosis férrica, produciéndose con valores de 30-50 % de carbonatos y pH entre 7-8.

En la Figura 3.12. se presentan los contenidos de carbonatos tanto antes como al finalizar el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede observar el contenido en carbonatos es elevado en todas las parcelas (Urbano, 2001), superior al 45%, no observándose ninguna variación significativa entre tratamientos, siendo ligeramente superior en las muestras tomadas después del cultivo. La presencia de estos valores tan elevados pueden causar una deficiencia en la absorción de hierro, manganeso y fósforo por el cultivo en los suelos de estudio.

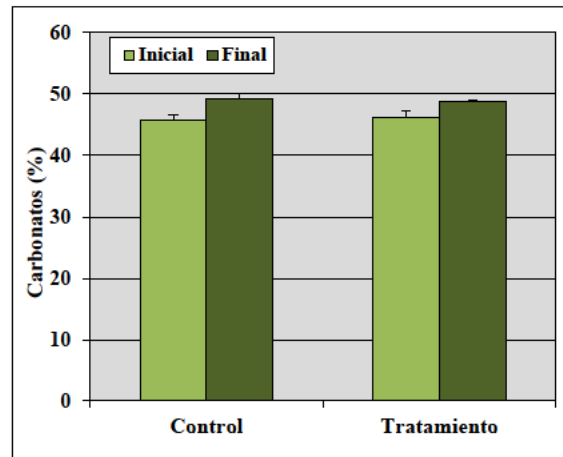


Figura 3.12. Carbonatos en las parcelas experimentales

Carbono orgánico

El carbono orgánico es una determinación indirecta del contenido de materia orgánica o humus que presenta un suelo. La materia orgánica del suelo está constituida por aquellas sustancias de origen animal o vegetal que se acumulan en el suelo o se incorporan a él. La materia orgánica modifica las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos; por una parte ésta tiene un efecto positivo sobre la buena estructura del suelo, da compacidad a los suelos sueltos y hace más esponjosos a los suelos pesados, al mismo tiempo que aumenta la capacidad de retención de agua e interviene favorablemente en el calentamiento de los suelos. Por otra parte, la materia orgánica aumenta la fertilidad de los suelos aportando elementos nutritivos, también juega un papel muy importante en la degradación de sustancias nocivas, como son los plaguicidas. Finalmente, cuando las condiciones de humedad, temperatura y aireación son adecuadas, la materia orgánica del suelo favorece la proliferación de microorganismos.

En la Figura 3.13. se presentan los valores de carbono orgánico tanto antes como al finalizar el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante. En todas las parcelas, tanto antes del cultivo como después del mismo, los niveles de carbono orgánico se encuentran cercanos al 1,1 % lo que equivale a un nivel de materia orgánica

(M.O.) de 1,89 %, lo que se clasifica como un nivel medio-bajo de MO (Porta et al., 1999). Transcurrido el cultivo, se produce una ligera disminución, no significativa, en las parcelas tratadas con el fitofortificante debido a la mineralización de la materia orgánica, posiblemente producida por la acción de las bacterias aportadas.

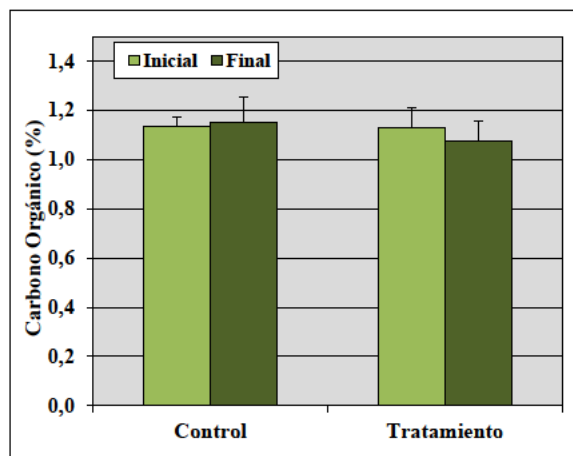


Figura 3.13. Carbono orgánico en las parcelas experimentales

Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se define como los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas (M.O. y arcillas) del suelo adsorben iones de la fase acuosa liberando al mismo tiempo otros iones en cantidades equivalentes, estableciéndose un equilibrio entre ambas fases, siendo un proceso dinámico que se desarrolla en la superficie de las partículas. Como los iones adsorbidos quedan en posición asimilable constituyen la reserva de nutrientes para las plantas. Las causas que originan el intercambio iónico son los desequilibrios eléctricos de las partículas del suelo, y para neutralizar dichos desequilibrios se adsorben iones en la superficie de las mismas.

En la Figura 3.14. se presentan los valores de capacidad de intercambio catiónico tanto antes como al finalizar el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede observar, la CIC de estos suelos es bastante homogénea, estando en torno a 13 cmol kg^{-1} en todas las parcelas, lo cual es un valor normal para suelos agrícolas (Thiagalingam, 2000). En lo referente al efecto del tratamiento, no se observa ninguna variación significativa debida al efecto de la aplicación del fitofortificante.

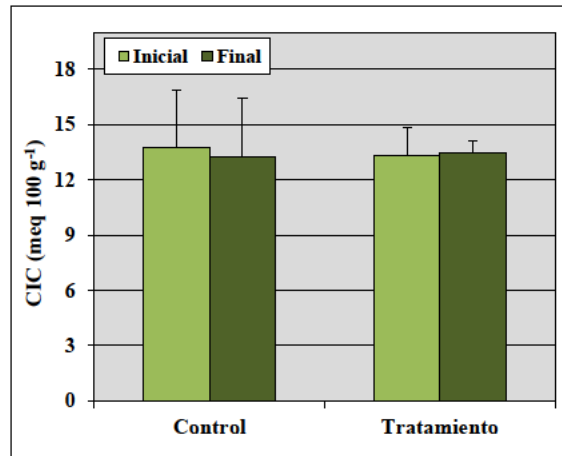


Figura 3.14. Capacidad de intercambio catiónico en las parcelas experimentales

Granulometría

La textura expresa las proporciones relativas de las distintas partículas minerales inferiores a 2 mm, agrupadas por clases de tamaños en fracciones granulométricas, tras la destrucción de los agregados (Porta *et al.*, 1999), estas fracciones son: arcilla (<0,002 mm), limo (0,002-0,05 mm) y arena (2-0,05 mm).

El interés en conocer la granulometría reside en que permite inferir otras propiedades y características directamente relacionadas con el uso y comportamiento del suelo (Porta *et al.*, 1999):

- Capacidad de retención de agua disponible para las plantas.
- Facilidad para la circulación del agua.
- Facilidad para el laboreo.
- Riesgo de formación de sellado y de costra superficial: deficiente velocidad de entrada de agua en el suelo y mala nascencia.
- Riesgo de erosión hídrica.
- Riesgo de erosión eólica.
- Capacidad para almacenar nutrientes.
- Capacidad para admitir aguas residuales, purines y otros residuos líquidos.

Las arenas tienen básicamente funciones físicas, siendo de especial importancia los espacios vacíos que dejan entre ellas. Los limos tienen tendencia a compactarse y, en consecuencia, a dejar el suelo “ahogado”, puesto que reducen mucho los espacios de aireación. La arcilla ejerce una función física, estructural y química. Los cristales que las componen se comportan como imanes, fijando en su superficie elementos químicos necesarios para la nutrición de las plantas. Estos elementos, al mismo tiempo, pueden unirse entre ellos y provocar repulsiones mutuas.

En la Figura 3.15. se presentan los porcentajes de arcilla, limo y arena tanto antes como al finalizar el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede ver el suelo de las parcelas de estudio está equilibrado, con porcentajes de cada una de estas fracciones entre 30-35 %, por lo que se podrían catalogar como suelos franco arcillosos (FAO, 2006), con porcentajes de limo ligeramente inferiores y de arena ligeramente superiores en las parcelas tratadas que en las parcelas control. No existiendo diferencias entre antes y después del cultivo.

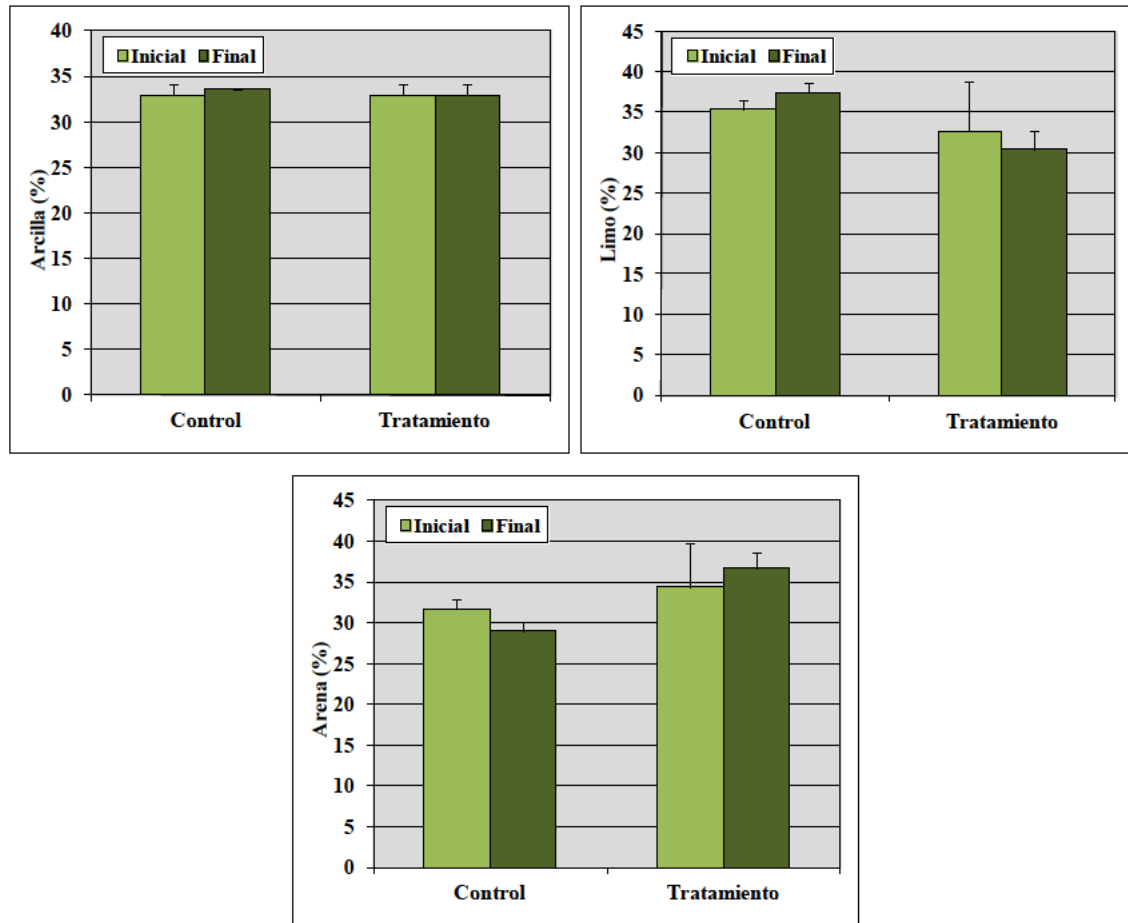


Figura 3.15. Arcilla, limo y arena en las parcelas experimentales

Relación C/N

De la relación C/N depende el grado de mineralización y humificación de la materia orgánica. La humificación es el conjunto de procesos responsables de la transformación de la materia orgánica. La transformación de la materia orgánica puede llegar a la destrucción total de los compuestos orgánicos dando lugar a productos inorgánicos sencillos como CO_2 , NH_3 , H_2O etc. y se habla, en este caso, del proceso de mineralización. Por lo tanto, la humificación es responsable de la acumulación de la materia orgánica en el suelo mientras que la mineralización conduce a su destrucción.

A medida que avanza el proceso de humificación se va reduciendo el valor de la relación C/N del material resultante, dado que el carbono se consume en los procesos energéticos de los microorganismos y termina como dióxido de carbono, mientras que el nitrógeno se invierte en la producción de proteínas que llegan nuevamente al suelo al morir los microorganismos presentes en él. Por lo tanto, cuanto menor sea el valor de la relación carbono/nitrógeno mayor será el grado de mineralización de la materia orgánica, por lo que la liberación de nitrógeno será superior. Una muy alta relación C/N, unida a otra serie de factores (pH bajo, fosfatos insuficientes o conductividad eléctrica baja) indica poca habilidad para producir nitratos. Por otro lado, una muy baja relación C/N indica el agotamiento del suelo, lo que ocurre cuando se explota intensamente o cuando se erosiona. Esto puede bajar la capacidad de cambio del suelo o provocar la formación de cantidades excesivas de nitratos e incluso de amoníaco, pero el efecto más frecuente y peligroso es que hace perder al suelo su estabilidad estructural, con lo cual se reduce la permeabilidad y se favorece la erosión.

En la Figura 3.16. se presentan los valores de la relación C/N tanto antes como al finalizar el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Antes de realizar el cultivo, los valores de la relación C/N se encuentran próximos a 15 en ambos tratamientos, lo que son catalogados como valores ligeramente altos, con una liberación de nitrógeno de normal a escasa. Trascurrido el cultivo, debido al incremento que se produce probablemente por la aplicación de fertilización nitrogenada en ambos tratamientos, la relación C/N disminuye, indicando una mayor liberación de N y un ligero agotamiento del suelo, no observándose diferencias significativas con la aplicación del fitofortificante.

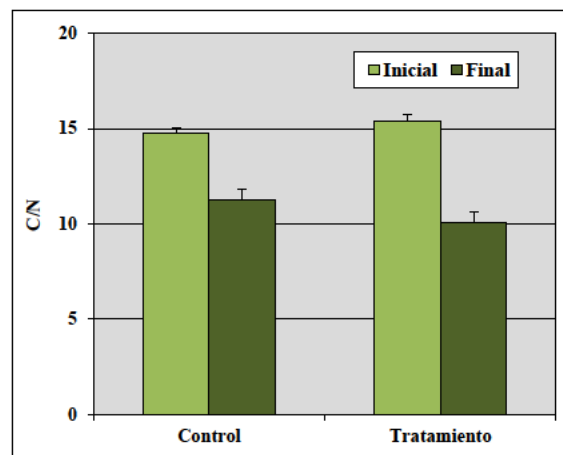


Figura 3.16. Relación C/N en las parcelas experimentales

Nitrógeno total

El nitrógeno es uno de los elementos principales para el desarrollo de las plantas, ya que estimula el crecimiento vegetal y microbiano. Siendo los organismos heterótrofos del suelo los responsables de la descomposición de la materia orgánica y la liberación de nutrientes, para lo cual requieren nitrógeno, que es tomado bien de la materia orgánica que descomponen o bien, si ésta no presenta lo suficiente, del amonio y los nitratos presentes en el suelo. De manera que, dependiendo de la cantidad de nitrógeno presente en el suelo, el proceso de transformación de la materia orgánica fresca será mayor o menor.

En la Figura 3.17. se presentan los valores de nitrógeno durante el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Antes de realizar el cultivo, los niveles de nitrógeno total se encuentran entorno al $0,8 \text{ g kg}^{-1}$ lo que se puede considerar un valor normal o ligeramente bajo en suelos agrícolas (Urbano, 2001).

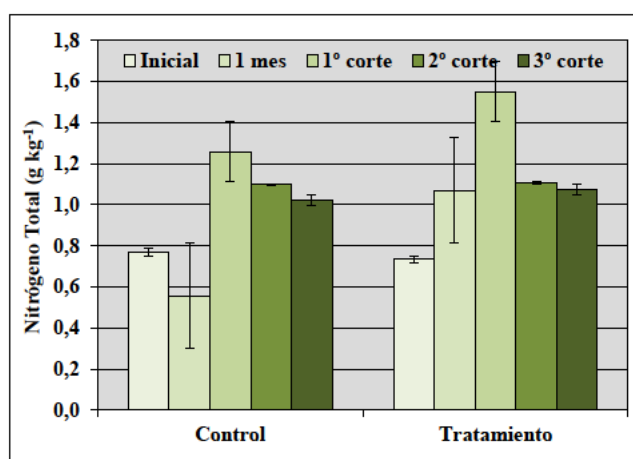


Figura 3.17. Nitrógeno total en las parcelas experimentales

Como se puede apreciar, tanto en las parcelas control como en las tratadas con el fitofortificante se produce un aumento en la concentración de nitrógeno hasta el 1º corte, posiblemente debido a la aplicación de este elemento con el abonado. Sin embargo, este incremento es mayor en las parcelas tratadas con el fitofortificante, lo que indicaría que el fitofortificante reduce las pérdidas de nitrógeno, manteniendo durante más tiempo en el suelo. Pasado el 1º corte se produce un consumo de nitrógeno por parte del cultivo que ocasiona una disminución del mismo en el suelo, llegando a niveles muy semejantes en ambos tratamientos.

Fósforo asimilable

El fósforo es esencial en todas las formas de vida conocidas, dado que constituye un elemento clave en muchos procesos fisiológicos y bioquímicos. Se trata de un elemento presente en todas las células de todos los organismos vivos. El fósforo aparece en estructuras complejas de ADN y ARN que, al contener y codificar la información genética, controlan todos los procesos biológicos en las plantas. Además, el fósforo es un componente fundamental del sistema de transporte de energía en todas las células. Destacar que el fósforo no aparece aislado en la naturaleza, sino que se encuentra siempre combinado con otros elementos con los que forma los fosfatos.

En la Figura 3.18 se presentan los valores de fósforo asimilable durante el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de fósforo asimilable antes del cultivo en todas las parcelas son altos, $\sim 80 \text{ mg kg}^{-1}$, por lo que no se esperan deficiencias nutricionales por causa de este elemento (Porta *et al.*, 1999).

Como se puede apreciar, en ambos tratamientos se produce un aumento de fósforo asimilable que se observa desde el 1º corte y se mantiene hasta el final del cultivo. No obstante, en el caso del tratamiento con el fitofortificante este aumento es significativamente superior ($>30 \text{ mg kg}^{-1}$), indicando que los microorganismos promueven la liberación de fósforo incrementando la fertilidad del suelo.

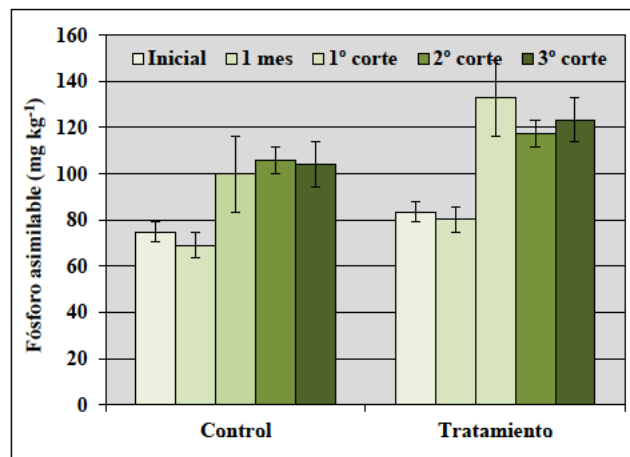


Figura 3.18. Fósforo asimilable en las parcelas experimentales

Oligoelementos asimilables (Cu, Fe, Zn y Mn)

Cobre asimilable

La cantidad de Cu total en el suelo está relacionada con el contenido de la roca madre. El contenido total de Cu varía entre 3 y 100 mg kg^{-1} , según el tipo de suelo, con un valor medio de alrededor de 20 mg kg^{-1} . La movilidad del Cu se ve muy limitada a causa de su elevada adsorción, ya que queda también fuertemente fijado por la materia

orgánica del suelo. La gran tendencia del Cu a formar complejos con la materia orgánica del suelo es un factor importante que explica el hecho de que las deficiencias de Cu sean menos frecuentes que las de Zn en suelos con pH alto, aun cuando estos dos micronutrientes tienen solubilidades bajas a pH elevado.

En la Figura 3.19. se presentan los valores de cobre durante el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de cobre asimilable antes del cultivo en todas las parcelas son adecuados (Thiagalingam, 2000), estando en todos los casos por encima de 2 mg kg^{-1} , por lo que no se esperan deficiencias nutricionales por causa de este elemento.

Al igual que en el caso del fósforo, se produce un aumento en la concentración de este elemento que se observa en el 1º corte y se mantiene hasta el final del cultivo, alcanzando valores ligeramente inferiores a 4 mg kg^{-1} en las parcelas control y superiores a este valor en las parcelas tratadas. De estos resultados se puede decir que la aplicación del fitofortificante incrementa ligeramente la biodisponibilidad de este elemento en el suelo, mejorando su fertilidad.

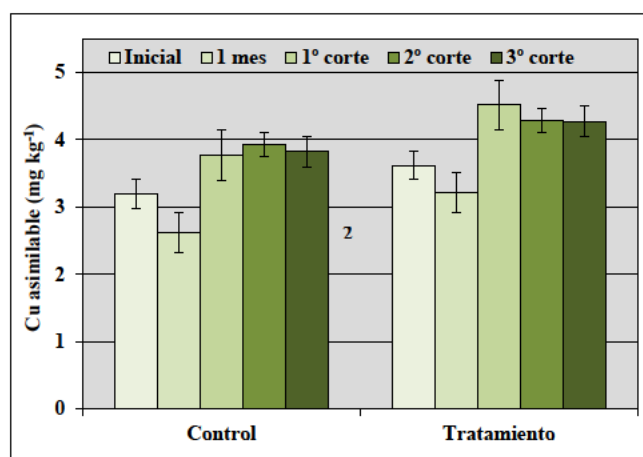


Figura 3.19. Cobre asimilable en las parcelas experimentales

Hierro asimilable

El Fe es con mucho, el oligoelemento más abundante en los suelos, pudiendo variar en su contenido total de 200 mg kg^{-1} a más del 10%, ya sea como constituyente de diferentes minerales o bajo la forma de óxidos e hidróxidos. En los suelos ricos en materia orgánica una cantidad importante de Fe puede ser reducida y encontrarse en la solución del suelo. Con la elevación del pH de la solución del suelo, la adsorción se acentúa y se produce la formación de compuestos insolubles, principalmente de minerales arcillosos que contienen Fe, Mg y Al. Destacar que en los suelos calcáreos

bajo clima mediterráneo la absorción del Fe se puede ver disminuida por el pH elevado de los mismos

En la Figura 3.20. se presentan los valores de hierro asimilable durante el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de hierro asimilable antes del cultivo en todas las parcelas son adecuados, estando en todos los casos por encima de 4 mg kg^{-1} , por lo que no se esperan deficiencias nutricionales por causa de este elemento (Thiagalingam, 2000), a pesar del alto contenido en carbonatos y el alto pH de estos suelos.

Al igual que en el caso del cobre, se produce un aumento en la concentración de este elemento que se observa en el 1º corte y se mantiene hasta el final del cultivo. Sin embargo, en las parcelas control las concentraciones de hierro son ligeramente superiores a 12 mg kg^{-1} e inferiores a este valor en las parcelas tratadas. De estos resultados se puede decir que la aplicación del fitofortificante podría estar limitando la liberación y, por lo tanto, la biodisponibilidad de este elemento en el suelo.

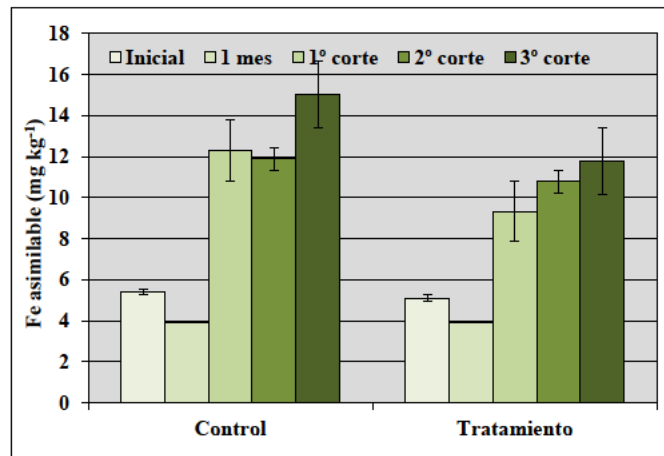


Figura 3.20. Hierro asimilable en las parcelas experimentales

Zinc asimilable

La cantidad de Zn total en el suelo está relacionada con la roca madre; es decir suelos que derivan de rocas ígneas básicas pueden presentar altas concentraciones de Zn mientras que suelos que derivan de rocas madres sedimentarias suelen ser pobres en dicho oligoelemento. El contenido total de Zn en suelos se encuentra entre 10 y 300 mg/kg.

La intensidad de la adsorción de Zn tiende a aumentar con el incremento del pH y la movilidad de Zn se ve reducida significativamente por encima de pH 7. Por lo que los suelos calizos son los más proclives a presentar deficiencia de Zn lo cual es debido a

la baja solubilidad de los complejos de Zn en suelos con presencia de carbonatos. Las condiciones más favorables para que se produzca una deficiencia de Zn son:

- suelos con bajo contenido de Zn (en particular suelos arenosos).
- suelos calizos (Zn-suelo menos asimilable).
- suelos pobres en materia orgánica.
- suelos enriquecidos en P debido a fertilización química.
- sistema radicular mal desarrollado (suelos compactos).
- encalado excesivo de suelos ácidos.

En la Figura 3.21 se presentan los valores de zinc asimilable durante el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Las concentraciones de zinc asimilable antes de realizar el cultivo son elevados, superando en todas las parcelas los 8 mg/kg, por lo que no se espera que exista deficiencias nutricionales por este elemento durante el cultivo (Thiagalingam, 2000).

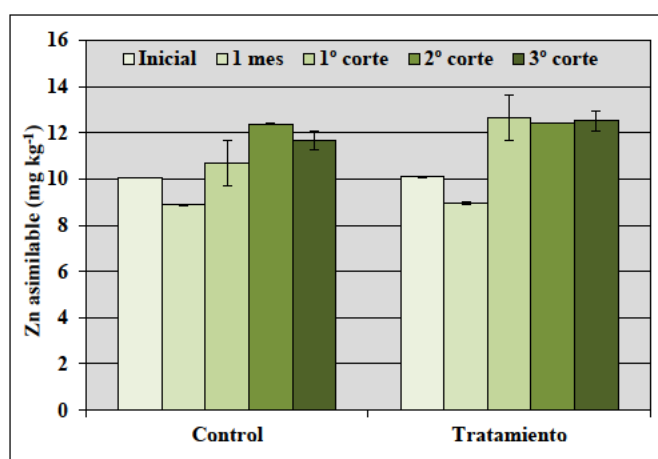


Figura 3.21. Zinc asimilable en las parcelas experimentales

Como una tendencia que se repite en los oligoelementos anteriores, el zinc asimilable tiende a incrementarse durante el cultivo, observando este incremento en el 1º corte y manteniéndose los niveles registrados hasta el final del cultivo. En este caso, los niveles en la parcela control y en la tratada son prácticamente iguales, por lo que el fitofortificante no parece tener ningún efecto en la liberación de este elemento.

Manganeso asimilable

La forma más importante del Mn en la nutrición de las plantas es el Mn^{+2} . El Mn se presenta en el suelo bajo las formas siguientes:

- Formas oxidadas: son los principales estados de Mn en el suelo. Dichas formas son las menos asimilables para las plantas.

- Forma Mn^{+2} divalente, es absorbida por los minerales arcillosos y por la materia orgánica (Mn intercambiable).

En condiciones reductoras el Mn ve aumentada su solubilidad y puede ser adsorbido como ión intercambiable. El nivel de Mn^{+2} en el suelo depende de las reacciones de oxidación y reducción, por lo que la asimilabilidad del Mn vendrá influenciada por todos los factores que intervienen en los fenómenos de oxido-reducción los cuales son: pH del suelo, contenido en materia orgánica, estado hídrico del suelo, y la actividad microbiana.

El Mn^{+2} es más asimilable a pH ácidos debido a la mayor solubilidad de los compuestos de Mn, llegando a ser tóxica para los cultivos. Por el contrario, en condiciones de pH básico, las formas tretavalentes son las dominantes y la asimilabilidad del Mn puede llegar a ser insuficiente.

En la Figura 3.22. se presentan los valores de manganeso asimilable durante el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de manganeso asimilable antes del cultivo en todas las parcelas son adecuados, estando en todos los casos próximos a 9 mg kg^{-1} , por lo que no se esperan deficiencias nutricionales por causa de este elemento (Thiagalingam, 2000).

La tendencia general es muy semejante a la observada en el caso del hierro asimilable, produciéndose un aumento en la concentración de este elemento que se observa en el 1º corte y se mantiene hasta el final del cultivo. Sin embargo, en las parcelas control las concentraciones de hierro son ligeramente superiores a 25 mg kg^{-1} e inferiores a este valor en las parcelas tratadas. De estos resultados se puede decir que la aplicación del fitofortificante limita la liberación y, por lo tanto, la biodisponibilidad de este elemento en el suelo.

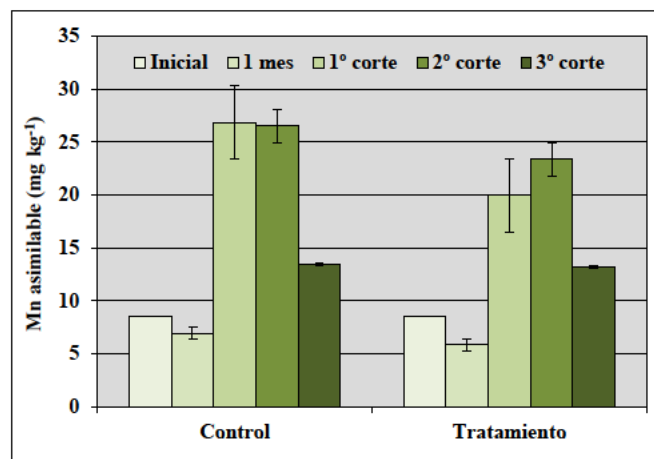


Figura 3.22. Manganeso asimilable en las parcelas experimentales

Cationes de cambio

Potasio intercambiable

El potasio (K) es un elemento relativamente abundante en la naturaleza. Es, junto a N y P, de los más utilizados como fertilizantes inorgánicos, encontrándose en los suelos como componente de la roca madre en forma de silicatos, en el interior de las láminas de la arcilla, fijado al complejo arcillo-húmico y/o en la disolución del suelo. Únicamente el que está en la disolución de suelo, es el asimilable por las plantas, siendo la fracción más activa del potasio la que se halla en los minerales secundarios de la fracción coloidal: caolinita, illita, montmorillonita y vermiculita, aunque también es adsorbido por la materia orgánica, pero en proporción mucho más pequeña.

La capacidad de adsorción del potasio en el suelo depende de la cantidad de arcilla presente en el mismo, de la humedad, de la temperatura y del pH del suelo. En general, el potasio se desplaza muy poco en el suelo, por ello las pérdidas por lavado son muy bajas, siendo menores cuanto mayor es el contenido de arcillas, de igual modo el humus también limita las pérdidas por lavado.

En la Figura 3.23 se presentan los valores de potasio intercambiable durante el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante. En general, los contenidos de potasio en las parcelas de estudio y antes del cultivo son adecuados, con valores cercanos a $0,6 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ (Horneck et al., 2011).

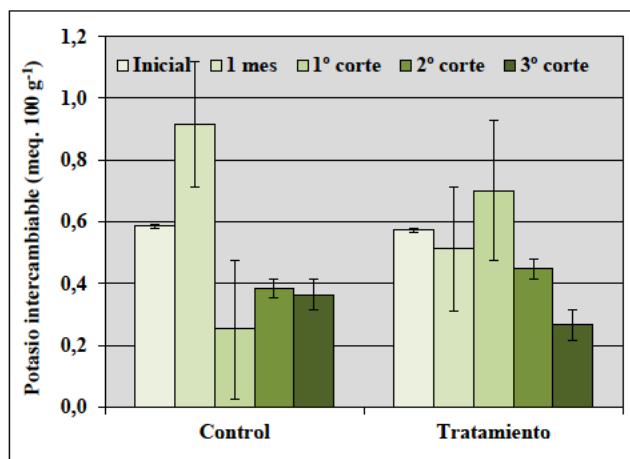


Figura 3.23. Potasio intercambiable en las parcelas experimentales

Como se puede observar en la figura anterior el potasio intercambiable sigue un patrón ligeramente diferente entre el tratamiento control y la aplicación del fitofortificante, donde se aprecia un aumento en la concentración intercambiable de potasio al comienzo del cultivo en el tratamiento control seguido de una importante

reducción en los tres periodos de recolección, lo que podría ocasionar una deficiencia en este elemento. Por el contrario, en las parcelas tratadas con el fitofortificante las concentraciones a lo largo del cultivo se mantienen más homogéneas, observándose una reducción progresiva durante los periodos de recolección, que al igual que el caso anterior puede ocasionar una deficiencia en K a partir del 2º corte.

Magnesio intercambiable

El magnesio es un elemento muy abundante en la corteza terrestre. El contenido de magnesio total en el suelo se encuentra entre el 4 y el 20%, variando en función de la textura del suelo, sobre todo por su contenido de arcillas. En los suelos se encuentra tanto como constituyente de numerosos minerales como formando parte de los residuos orgánicos aportados como abonado de fondo, que tras su descomposición y degradación pasa al suelo en forma de sales solubles: cloruros, sulfatos, etc.

En el sistema suelo-planta hay que distinguir las tres fracciones siguientes:

- Los minerales que contienen este elemento y que son poco activos en el suelo.
- El magnesio adsorbido en el complejo coloidal en forma intercambiable.
- El magnesio (Mg) presente en la solución del suelo y que constituye la fuente principal de absorción para el cultivo.

El comportamiento de Mg en el sistema suelo-planta queda circunscrito básicamente a la reacción de adsorción y el equilibrio existente entre el Mg de la solución y el magnesio adsorbido en forma intercambiable. No obstante, al igual que el potasio, puede quedar fijado en forma no cambiante en las posiciones interlaminares de determinadas arcillas y ocupar posiciones en la red cristalina de las mismas sustituyendo al Al.

En la Figura 3.24. se presentan los valores de magnesio intercambiable durante el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante. En general los contenidos de magnesio en las parcelas de estudio y antes del cultivo son bajos (Horneck et al., 2011), con valores cercanos a $1,0 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, por lo que podrían darse carencias nutricionales por este elemento a lo largo del cultivo.

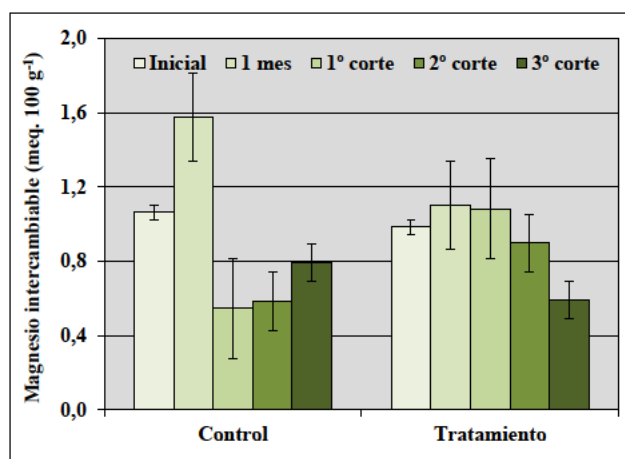


Figura 3.24. Magnesio intercambiable en las parcelas experimentales

Al igual que en el caso anterior, se aprecia un aumento en la concentración intercambiable de magnesio al comienzo del cultivo en el tratamiento control seguido de una importante reducción en los tres periodos de recolección. Por el contrario, en las parcelas tratadas con el fitofortificante las concentraciones a lo largo del cultivo se mantienen más homogéneas, observándose una reducción progresiva durante los periodos de recolección.

Calcio intercambiable

El calcio presente en el suelo, aparte del añadido, como fertilizantes diversos o como enmiendas, procede de las rocas y de los minerales de los que el suelo está formado, y su contenido total puede variar ampliamente. En los suelos calizos puede alcanzar hasta un 25 %.

El calcio puede estar en tres formas mayoritarias en el sistema suelo- planta:

- La fracción mineral la forman los feldespatos, calizas y varios compuestos de fósforo.
- La fracción adsorbida en el complejo coloidal en la que el calcio juega un decisivo papel como floculante.
- El Ca^{+2} en la solución del suelo.

Aunque el contenido de calcio sea muy elevado, como es el caso de suelos calizos, las fracciones más activas e importantes del sistema son el Ca^{+2} intercambiable y el Ca^{+2} en solución. El calcio suele ocupar entre el 30 y el 90 % de la capacidad total de cambio del suelo, teniendo un papel muy importante en la mejora de estructura del suelo, por medio de la floculación de las partículas coloidales y su efecto sobre la agregación de las mismas para constituir una estructura estable.

En la Figura 3.25. se presentan los valores de calcio intercambiable durante el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante.

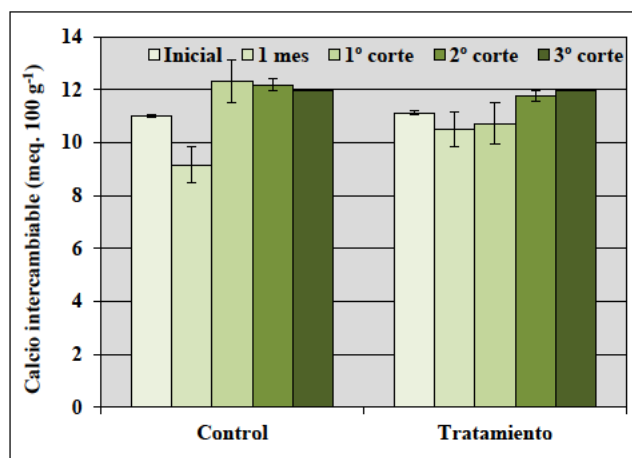


Figura 3.25. Calcio intercambiable en las parcelas experimentales

Los contenidos iniciales de calcio intercambiable en todas las parcelas de estudio son elevados, ya que se encuentran por encima de $10 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, lo que era de esperar por el alto contenido en carbonatos de estos suelos. Al contrario que en los casos anteriores los valores de calcio en ambos tratamientos son muy semejantes tanto entre ellos como durante el cultivo, manteniéndose en valores elevados (Thiagalingam, 2000), siendo el catión mayoritario en el complejo de cambio.

Sodio intercambiable

Altos contenidos de iones de sodio en la solución del suelo afecta la permeabilidad del mismo y causa problemas de infiltración. Esto es debido a que el sodio cuando está presente en el suelo es intercambiable por otros iones ocupando posiciones de cambio. El calcio y el magnesio son cationes que forman parte de los complejos estructurales que forman el suelo generando una estructura granular apropiada para los cultivos. Por el contrario, el exceso de iones de sodio desplaza el calcio y magnesio) y provoca la dispersión y desagregación del suelo. El suelo se vuelve duro y compacto en condiciones secas y reduce la infiltración de agua y aire a través de los poros que conforman el suelo.

Altos contenidos en sodio puede generar graves problemas, especialmente cuando el nivel de infiltración es reducida hasta niveles que impiden la disponibilidad y absorción de agua por la planta. Otros problemas de los cultivos causados por un exceso

de sodio son la formación de incrustaciones de semillas, malas hierbas, erosión del suelo, escasez de oxígeno y nutrientes disponibles para las plantas.

En la Figura 3.26. se presentan los valores de sodio intercambiable durante el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante.

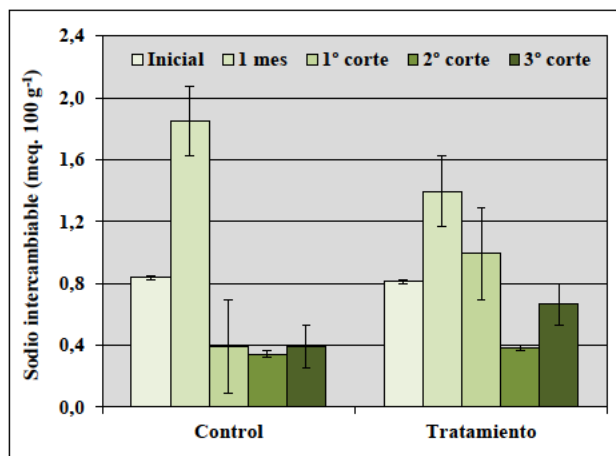


Figura 3.26. Sodio intercambiable en las parcelas experimentales

Como se puede observar en la figura anterior, los contenidos de sodio intercambiable aumentan al mes de la aplicación para disminuir durante el cultivo como se observa en el primer corte, donde se produce un importante descenso en su concentración. Esto indica que posiblemente se haya producido un desplazamiento de este elemento en el complejo de cambio seguido de un lavado del mismo durante los riegos mejorando, de este modo, la estructura del suelo.

Relaciones entre cationes de cambio

Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en suelos junto con la concentración de sales en el agua son factores importantes en la permeabilidad del suelo. Se ha tomado un PSI de 15, como el contenido crítico por encima del cual la estructura del suelo puede volverse inestable.

En la Figura 3.27. se presentan los valores de porcentaje de sodio intercambiable durante el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante.

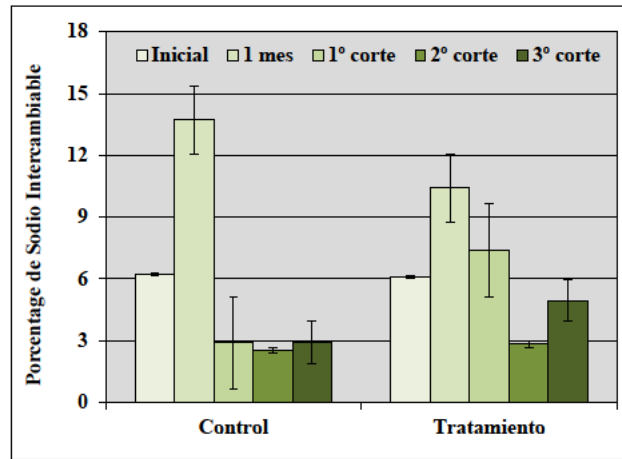


Figura 3.27. Porcentaje de sodio intercambiable en las parcelas experimentales

Al inicio del ensayo, en todas las parcelas el PSI se encuentra por debajo de 15, siendo este el límite a partir del cual podríamos tener problemas de estabilidad estructural. Como ocurre en el caso del sodio intercambiable, el porcentaje de sodio intercambiable tiende a aumentar al inicio del cultivo, sobre todo en las parcelas no tratadas con el fitofortificante, para disminuir rápidamente hasta el 1º corte, manteniéndose en valores por debajo de 6 en ambos tratamientos hasta el final del cultivo, por lo que no existen problemas de inestabilidad en los suelos estudiados.

Relación Ca/Mg

Un exceso de calcio (Ca) intercambiable puede interferir la absorción del magnesio (Mg) y del potasio (K). Si la relación Ca/Mg, expresados ambos en $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$, es mayor de 10, es posible que se produzca una deficiencia de magnesio. Por el contrario si es inferior a 1, se produciría deficiencia en calcio, siendo la relación óptima Ca/Mg alrededor de 5.

En la Figura 3.28 se presentan los valores de la relación Ca/Mg durante el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar los valores de la relación Ca/Mg al inicio del cultivo se encuentran cercanos a 10, por lo que se podría dar una deficiencia de magnesio. El cual aumenta en gran medida después del 1º mes tras la aplicación del fitofortificante en las parcelas control, debido a la reducción de la concentración de magnesio, por lo que la deficiencia sería más acusada durante este periodo. Por su parte, en las parcelas tratadas con el fitofortificante este aumento se observa únicamente en el 3º corte, por lo que la carencia en este elemento es menos acusada que en las parcelas control.

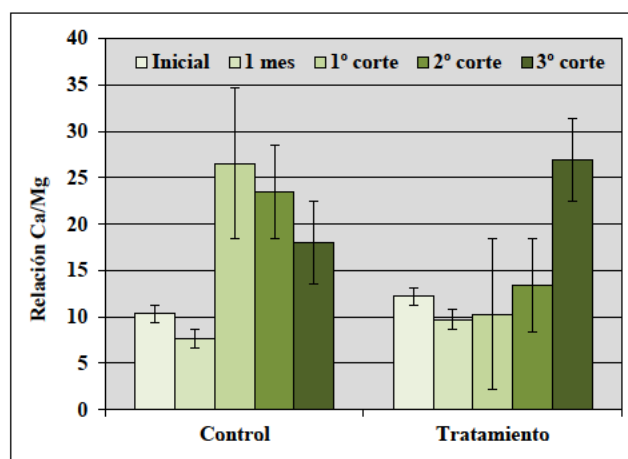


Figura 3.28. Relación Ca/Mg en las parcelas experimentales

Relación K/Mg

La relación K/Mg debe estar comprendida entre 0,2 y 0,3. Si esta relación es mayor de 0,5 pueden producirse deficiencias de magnesio por efecto antagónico de potasio. En cambio, si la relación es de alrededor 0,1, se puede producir una deficiencia de potasio inducida por el magnesio.

En la Figura 3.29. se presentan los valores de la relación K/Mg durante el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante.

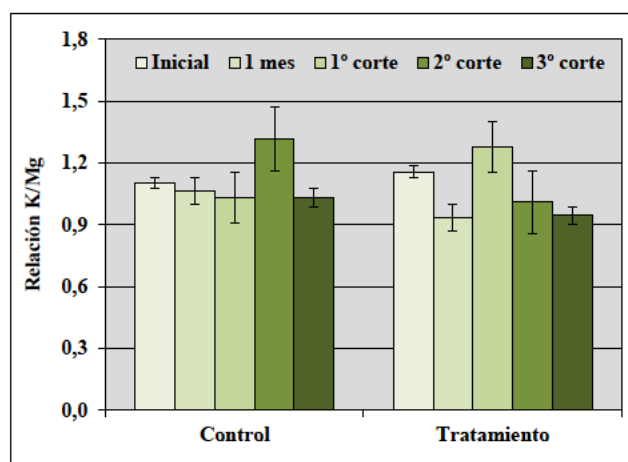


Figura 3.29. Relación K/Mg en las parcelas experimentales

Como se puede apreciar los valores de K/Mg durante todo el cultivo son altos, estando todos ellos por encima de 0,5; lo que indica nuevamente que podría haberse producido una deficiencia de magnesio durante el cultivo. No existiendo diferencias significativas entre tratamientos.

Propiedades microbiológicas/bioquímicas del suelo

Carbono de la biomasa microbiana

El carbono de la biomasa microbiana (CBM) se puede definir como el componente vivo de la materia orgánica del suelo, y hace referencia a la cantidad de microorganismos que se encuentran en el mismo. Los microorganismos juegan un papel importante en el desarrollo, conservación y fertilidad del suelo, ya que actúan en los procesos biogeoquímicos de los nutrientes. Las alteraciones en la biomasa microbiana, como el descenso de la misma, parece estar determinado por propiedades de las comunidades microbianas, su tipología y actividad, así como por las condiciones climáticas y de cultivo a las que se ve sometido el suelo.

En la Figura 3.30. se presentan los valores de carbono de la biomasa microbiana durante el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de CBM antes del cultivo son en general bajos, todos ellos inferiores a 90 mg/kg, indicando un bajo contenido de microorganismos en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

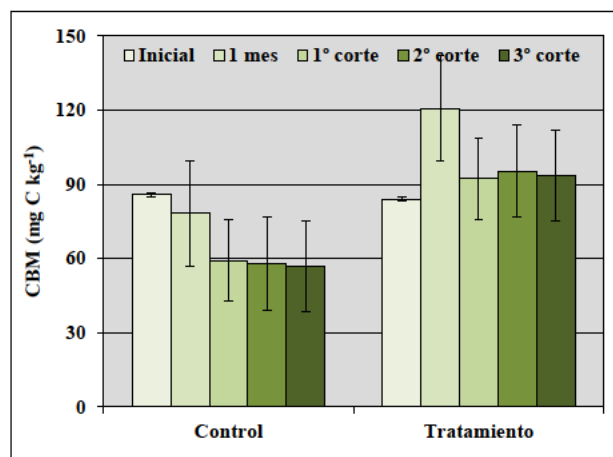


Figura 3.30. Carbono de la biomasa microbiana en las parcelas experimentales

Por el contrario, una vez aplicado el fitofortificante se produce un aumento de los microorganismos, hasta alcanzar los 120 mg kg⁻¹, aspecto que no ocurre en la parcela control, cuyo contenido decrece ligeramente. Transcurrido el 1º mes tras la aplicación, se produce en ambos tratamientos una disminución de los mismos (<60 mg kg⁻¹ en las parcelas control), aunque se mantiene en una concentración más elevada en las parcelas tratadas (>90 mg kg⁻¹), estando ésta por encima de las concentraciones iniciales, lo que garantiza una cierta actividad microbiana que favorecerá los procesos biogeoquímicos.

Respiración

La respiración edáfica basal es una medida de la mineralización de la materia orgánica por los microorganismos aerobios del suelo, donde el O_2 es el receptor final de electrones, produciendo CO_2 y H_2O . Por tanto, la actividad metabólica de los microorganismos se puede cuantificar midiendo la producción de CO_2 . Además, de esta forma, también se puede estimar la cantidad de materia orgánica del suelo (o cualquier sustrato orgánico) que se mineraliza.

En la Figura 3.31. se presentan los valores de respiración basal durante el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de respiración antes del cultivo son en general bajos, con valores próximos a $2,5 \text{ mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, indicando una baja actividad microbiana en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

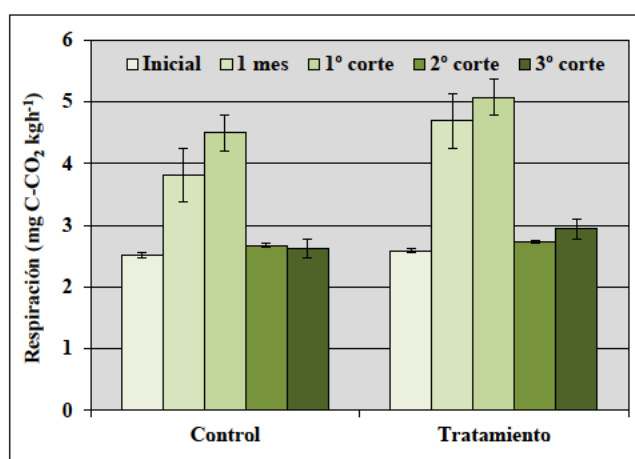


Figura 3.31. Respiración en las parcelas experimentales

Sin embargo, una vez se ha implantado el cultivo en ambos tratamientos se produce un incremento en la actividad microbiana hasta el 1º corte, siendo más acusado en el caso de las parcelas tratadas con el fitofortificante, para disminuir bruscamente en el 2º corte, permaneciendo constante hasta el 3º corte con valores semejantes en ambos tratamientos.

Actividad fosfatasa

Las enzimas fosfatasa son enzimas inespecíficas que catalizan la hidrólisis de glicerofosfatos. Por tanto, estas enzimas catalizan la transformación de fósforo orgánico en inorgánico, haciéndolo asimilable para microorganismos y plantas.

En la Figura 3.32 se presentan los valores de actividad fosfatasa durante el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante.

Como se puede apreciar en la figura anterior, los valores de actividad fosfatasa antes del cultivo en las parcelas de estudio de ambos tratamientos son en general bajos, todos ellos entre 0,6-0,8 $\mu\text{mol P-nitrofenol g h}^{-1}$, indicando una baja actividad fosfatasa en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

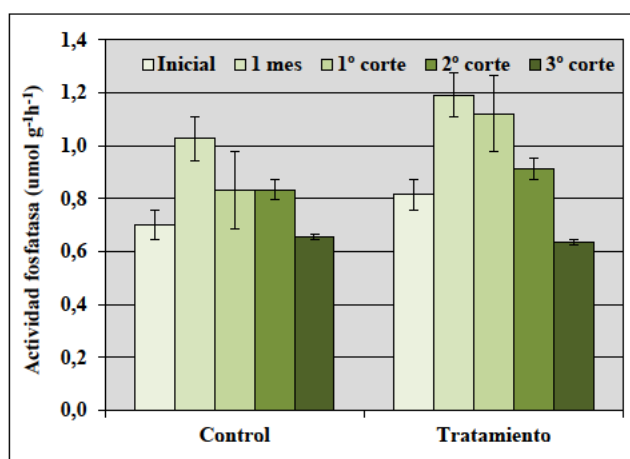
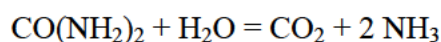


Figura 3.32. Actividad fosfatasa en las parcelas experimentales

Por el contrario, de forma natural se produce un aumento en dicha actividad, tal y como se aprecia en la parcela control. No obstante, en las parcelas tratadas este aumento es significativamente superior, debido al incremento de los microorganismos en las parcelas tratadas con el fitofortificante, lo cual favorece el incremento de la actividad fosfatasa, donde los valores alcanzan los 1,2 $\mu\text{mol P-nitrofenol g h}^{-1}$ un mes después de la aplicación, favoreciendo la liberación de fósforo asimilable para el cultivo (Figura 3.18). Posteriormente, se produce una disminución progresiva de la actividad fosfatasa, hasta alcanzar valores semejantes, 0,6 $\mu\text{mol P-nitrofenol g h}^{-1}$, entre tratamientos al final del cultivo.

Actividad ureasa

La actividad ureasa o urea amido hidrolasa cataliza la hidrólisis de la urea a dióxido de carbono y amoníaco:



La enzima actúa sobre enlaces C-N, no peptídicos en amidas lineales, y por tanto se engloba dentro de las hidrolasas del ciclo del nitrógeno.

En la Figura 3.33. se presentan los valores de actividad ureasa durante el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los

valores de actividad ureasa antes del cultivo en las parcelas estudiadas son muy bajos, todos ellos cercanos a $0,4 \mu\text{mol NH}_4 \text{ g h}^{-1}$, indicando una baja actividad ureasa en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

Sin embargo, en las parcelas control se produce un aumento progresivo en dicha actividad hasta el 1º corte, indicando que durante el desarrollo del cultivo se produce un activación natural de los microorganismos. De forma similar, se observa un aumento en esta actividad en las parcelas tratadas, aunque en este caso este aumento no es superior a las parcelas control, por lo que el fitofortificante no incrementa de forma significativa la actividad de esta enzima.

Sin embargo, pasado el 1º corte se observa una disminución importante en dicha actividad en ambos tratamientos, que se mantiene en valores superiores en las parcelas tratadas dando como resultado una mayor liberación de nitrógeno.

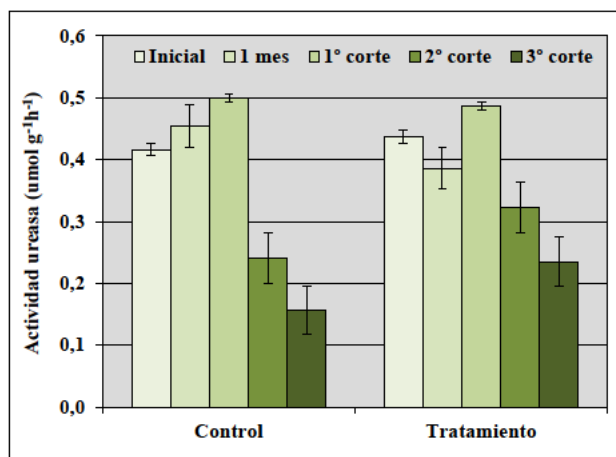


Figura 3.33. Actividad ureasa en las parcelas experimentales

Actividad β -glucosidasa

La enzima β -glucosidasa es una hidrolasa perteneciente al grupo de las glicosidasas, que interviene en el ciclo del carbono y específicamente actúa en la hidrólisis de los enlaces β -glucosídicos de las grandes cadenas de carbohidratos. La hidrólisis de estos sustratos juegan un papel importante en la obtención de energía para los microorganismos del suelo.

En la Figura 3.34 se presentan los valores de actividad β -glucosidasa durante el cultivo del melón en las parcelas tratadas con el fitofortificante.

Como se puede apreciar en la figura anterior, los valores de actividad β -glucosidasa antes del cultivo varían entre $0,2$ y $0,25 \mu\text{mol P-nitrofenol g h}^{-1}$, indicando una baja actividad β -glucosidasa en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

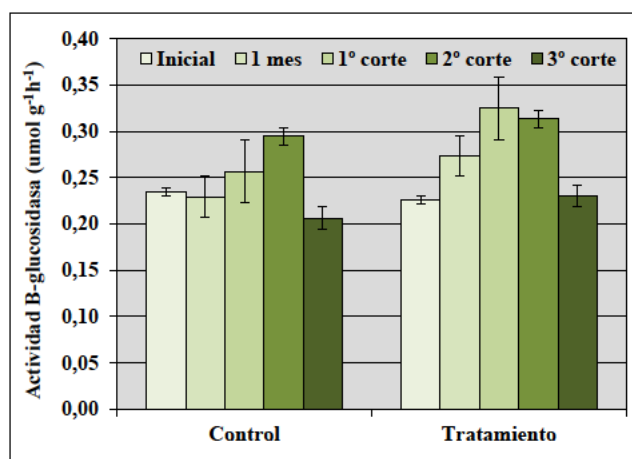


Figura 3.34. Actividad β -glucosidasa en las parcelas experimentales

Como se aprecia en la figura anterior, se produce un ligero aumento en dicha actividad en las parcelas control hasta alcanzar su máximo en el 2º corte, $0,29 \mu\text{mol P-nitrofenol g h}^{-1}$, mientras que en las parcelas tratadas este aumento es más pronunciado, con su máximo en el 1º corte. Posteriormente se produce una disminución en dicha actividad hasta alcanzar valores semejantes a los iniciales en ambos tratamientos.

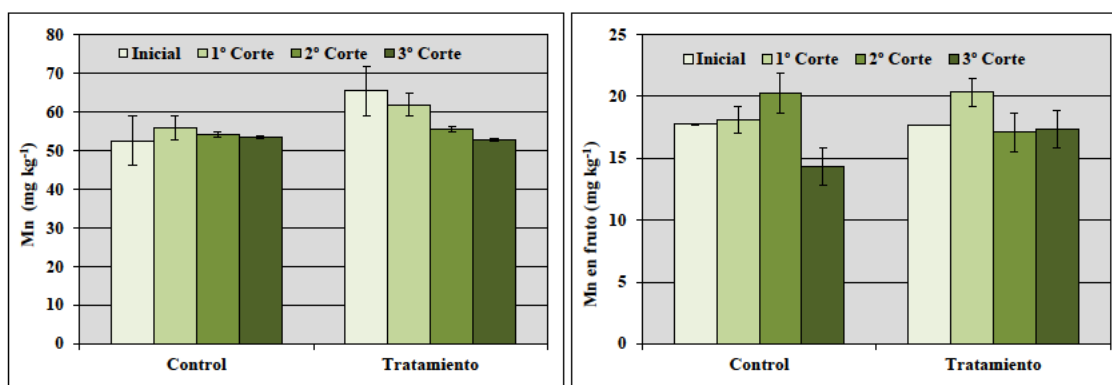
Balance nutricional

A continuación se presentan las concentraciones de nutrientes en el cultivo del melón, tanto en hojas como en la piel del fruto, para los periodos: inicial (al mes del tratamiento con el fitofortificante), 1º corte, 2º corte y 3º corte.

Micronutrientes

En las Figuras 3.35 y 3.36 se muestran las concentraciones de manganeso tanto en hojas como en la piel de los frutos, cuyo rango normal en hojas oscila entre 50-100 mg/kg. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, entando en niveles normales en ambos tratamientos, aunque se observan mayores acumulaciones en las parcelas tratadas, existiendo por lo tanto menos riesgo de deficiencia en estas parcelas. Destacar que se produce una disminución con el tiempo en las parcelas tratadas, hasta alcanzar valores semejantes en ambos tratamientos en el 3º corte.

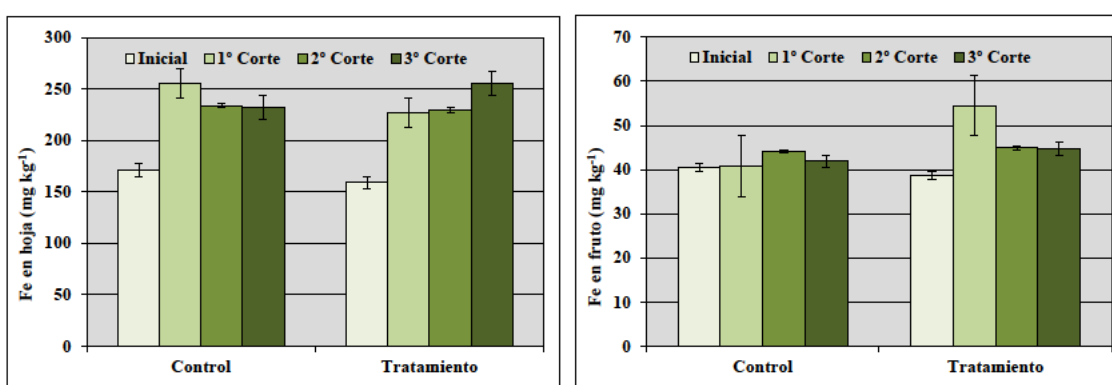
En el fruto, en ambos tratamientos, las concentraciones de manganeso se encuentran en un rango entre $15\text{-}20 \text{ mg kg}^{-1}$, siendo las concentraciones de Mn más homogéneas en las parcelas tratadas.



Figuras 3.35 y 3.36. Concentraciones de manganeso en el cultivo (hoja y fruto) de las parcelas experimentales

En las Figuras 3.37 y 3.38 se muestran las concentraciones de hierro tanto en hojas como en la piel de los frutos, cuyo rango normal en hojas oscila entre 60-120 mg kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, entando en niveles muy superiores a los normales en ambos tratamientos, alcanzando los 250 mg kg⁻¹ en ambos casos, indicando que se ha producido un exceso en la absorción de hierro, no siendo necesaria la fertilización de este elemento, ni producirse bloqueo del mismo debido tanto al alto porcentaje de carbonatos como al alto valor de pH de estos suelos. Destacar que no existen diferencias entre tratamientos, posiblemente debido a que existe un exceso de hierro asimilable en el suelo.

En el fruto, en ambos tratamientos, las concentraciones de hierro se encuentran en un rango entre 40-50 mg kg⁻¹, siendo ligeramente superiores en el caso de las parcelas tratadas, sobre todo en el 1º corte.

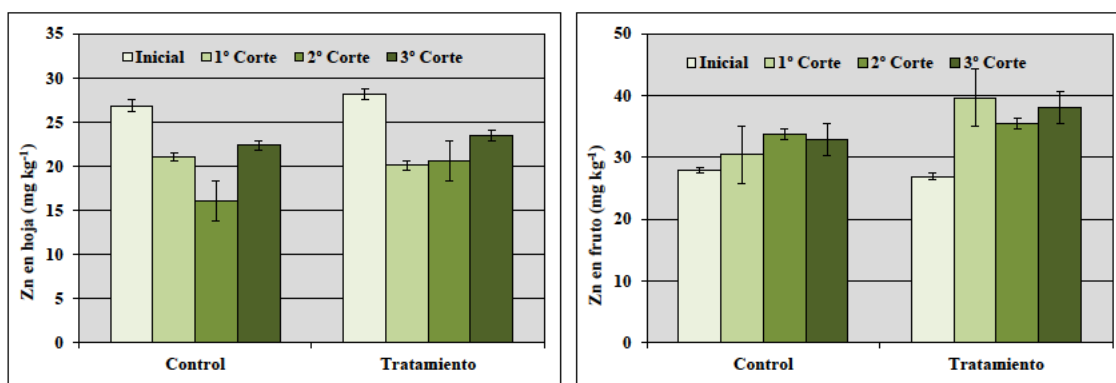


Figuras 3.37 y 3.38. Concentraciones de hierro en el cultivo (hoja y fruto) de las parcelas experimentales

En las Figuras 3.39 y 3.40 se muestran las concentraciones de zinc tanto en hojas como en la piel de los frutos, cuyo rango normal en hojas oscila entre 20-80 mg kg⁻¹. Como se puede ver, las concentraciones en hojas son ligeramente inferiores a las registradas en los frutos, siendo semejantes y estando en niveles normales en ambos

tratamientos, a excepción del 2º corte en las parcelas control donde las concentraciones son bajas, lo que podría indicar una ligera deficiencia en este elemento.

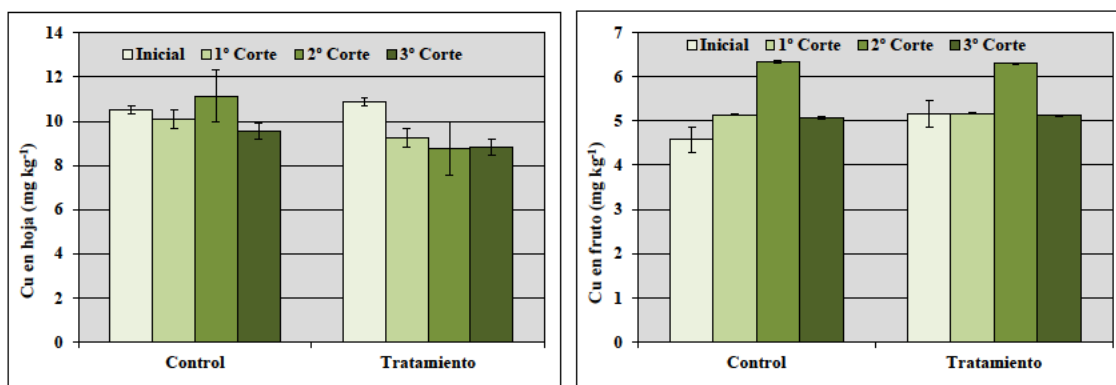
Las concentraciones de zinc en el fruto, en ambos tratamientos, se encuentran en un rango entre 30-40 mg kg⁻¹, a excepción de las muestras tomadas un mes después de la aplicación del fitofortificante en ambos tratamientos que son algo inferiores a 30 mg kg⁻¹, siendo las concentraciones de Zn superiores en los frutos de las parcelas tratadas, lo que indica una mayor translocación de este elementos a la piel de estos frutos que en los tomados de las parcelas control.



Figuras 3.39 y 3.40. Concentraciones de zinc en el cultivo (hoja y fruto) de las parcelas experimentales

En las Figuras 3.41 y 3.42 se muestran las concentraciones de cobre tanto en hojas como en la piel de los frutos, cuyo rango normal en hojas oscila entre 5-20 mg kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, entando en niveles normales en ambos tratamientos (entre 8-10 mg kg⁻¹), indicando que la nutrición del cultivo para este elemento es adecuada. Destacar que las parcelas tratadas presentan una ligera disminución de Cu en el 1º corte, el cual se mantiene constante y ligeramente inferior a las parcelas control.

El patrón de distribución de las concentraciones de cobre en la piel del fruto, en ambos tratamientos, es prácticamente idéntico, encontrándose en un rango entre 5-6 mg kg⁻¹, a excepción de las muestras tomadas un mes después de la aplicación del fitofortificante que son algo inferiores a 5 mg kg⁻¹ en las parcelas control.

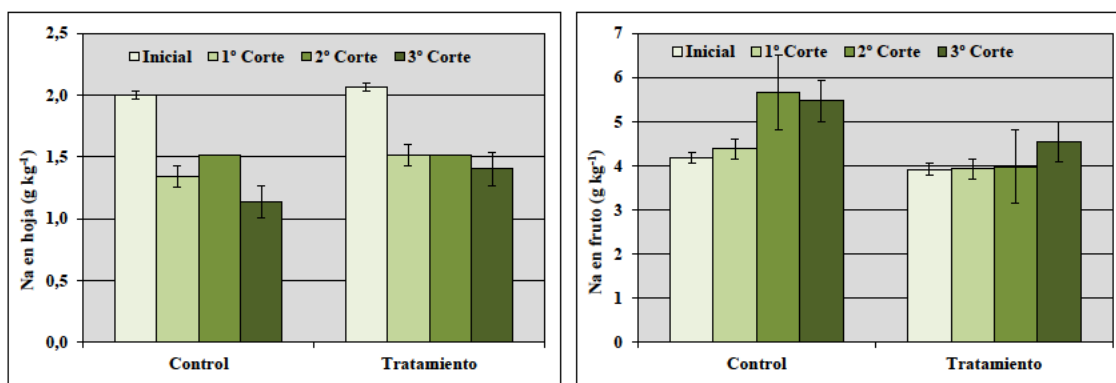


Figuras 3.41 y 3.42. Concentraciones de cobre en el cultivo (hoja y fruto) de las parcelas experimentales

Macronutrientes

En las Figuras 3.43 y 3.44 se muestran las concentraciones de sodio tanto en hojas como en la piel de los frutos, cuyo rango normal en hojas oscila entre 0,1-2 g kg⁻¹. Como se puede ver, las concentraciones en hojas son inferiores a las registradas en los frutos, estando en niveles normales en ambos tratamientos, y siguiendo el mismo patrón de distribución, donde se produce un descenso después de 1 mes desde la aplicación del fitofortificante que se mantiene relativamente constante con el tiempo.

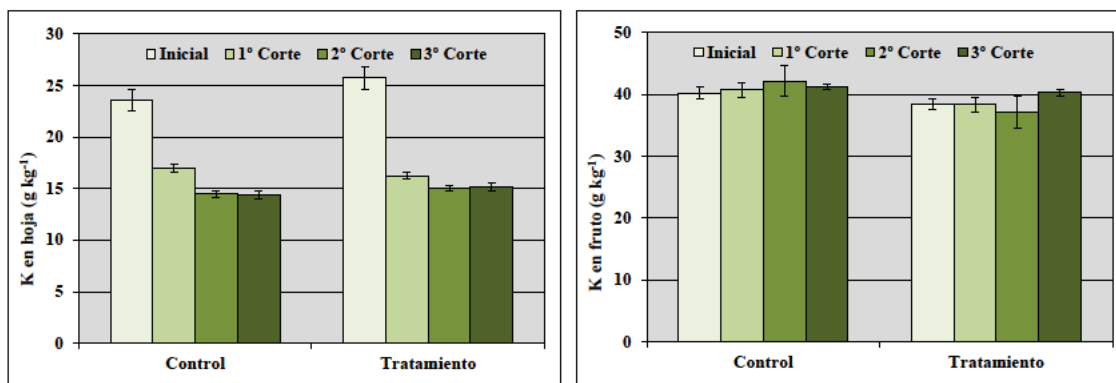
Las concentraciones de sodio en el fruto, tanto en el 1º muestreo como en el 1º corte y en ambos tratamientos se encuentran en un valor semejante y cercano a 4 g kg⁻¹. Sin embargo, en el 2º y 3º corte se produce un incremento de sodio en las parcelas control (~5,5 g kg⁻¹), aspecto que no se observa en las parcelas tratadas, donde la concentración se mantiene en niveles próximos a 4 g kg⁻¹, lo que indica una mayor translocación de este elemento a la piel de estos frutos en las parcelas control.



Figuras 3.43 y 3.44. Concentraciones de sodio en el cultivo (hoja y fruto) de las parcelas experimentales

En las Figuras 3.45 y 3.46 se muestran las concentraciones de potasio tanto en hojas como en la piel de los frutos, cuyo rango normal en hojas oscila entre 25-50 g kg⁻¹. Como se puede ver, las concentraciones en hojas son inferiores a las registradas en los

frutos, estando en niveles deficitarios en ambos tratamientos, a excepción del primer muestreo donde los niveles se aproximan al rango inferior de normalidad. Además, el patrón de distribución en ambos tratamientos es el mismo, donde se produce un descenso después de 1 mes desde la aplicación del fitofortificante, el cual se mantiene relativamente constante hasta el final del cultivo, en valores deficitarios. Estos resultados indican que ha existido una deficiencia de este elemento para el cultivo y debería haberse realizado un aporte extra de este elemento.

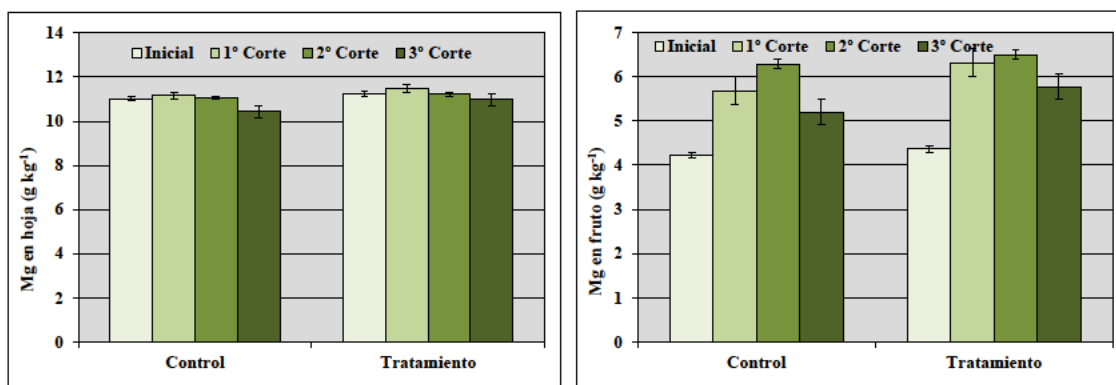


Figuras 3.45 y 3.46. Concentraciones de potasio en el cultivo (hoja y fruto) de las parcelas experimentales

Las concentraciones de potasio en el fruto se encuentran próximas a 40 g kg^{-1} en ambos tratamientos a lo largo del cultivo, siendo ligeramente inferiores en las parcelas tratadas. En este caso no se observa la deficiencia encontrada en las hojas, indicando una translocación semejante durante todo el cultivo.

En las Figuras 3.47 y 3.48 se muestran las concentraciones de magnesio tanto en hojas como en la piel de los frutos, cuyo rango normal en hojas oscila entre $5\text{-}10 \text{ g kg}^{-1}$. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, estando en niveles ligeramente altos en ambos tratamientos (entre $10\text{-}12 \text{ g kg}^{-1}$), indicando que la nutrición del cultivo para este elemento es adecuada, a pesar de haber observado anteriormente una posible deficiencia de magnesio intercambiable en los suelos. Destacar que en ambos tratamientos las concentraciones de Mg en hoja se mantienen constantes durante todo el cultivo.

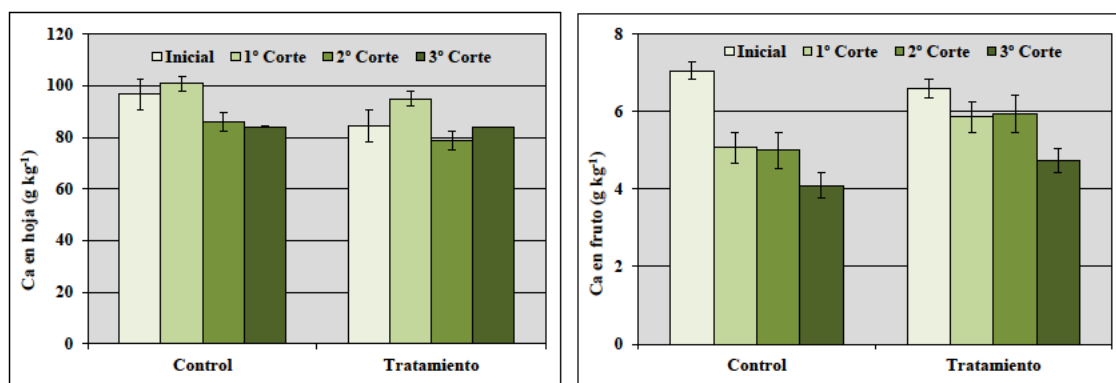
El patrón de distribución de las concentraciones de magnesio en el fruto en ambos tratamientos es muy semejante, encontrándose en un rango entre $4\text{-}7 \text{ g kg}^{-1}$, produciéndose un incremento al mes de la aplicación del fitofortificante y hasta el 2º corte, para disminuir ligeramente en el tercero.



Figuras 3.47 y 3.48. Concentraciones de magnesio en el cultivo (hoja y fruto) de las parcelas experimentales

En las Figuras 3.49 y 3.50 se muestran las concentraciones de calcio tanto en hojas como en la piel de los frutos, cuyo rango normal en hojas oscila entre 20-35 g kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, entando en niveles muy elevados en ambos tratamientos (entre 80-100 g kg⁻¹), indicando que la nutrición del cultivo para este elemento es excesiva, lo cual es debido a la gran cantidad de calcio intercambiable presente en el suelo, derivado de la naturaleza calcárea de los suelos. Destacar que en ambos tratamientos las concentraciones de Ca en hoja se mantienen relativamente constantes durante todo el cultivo, bajando ligeramente en el 2° y 3° corte.

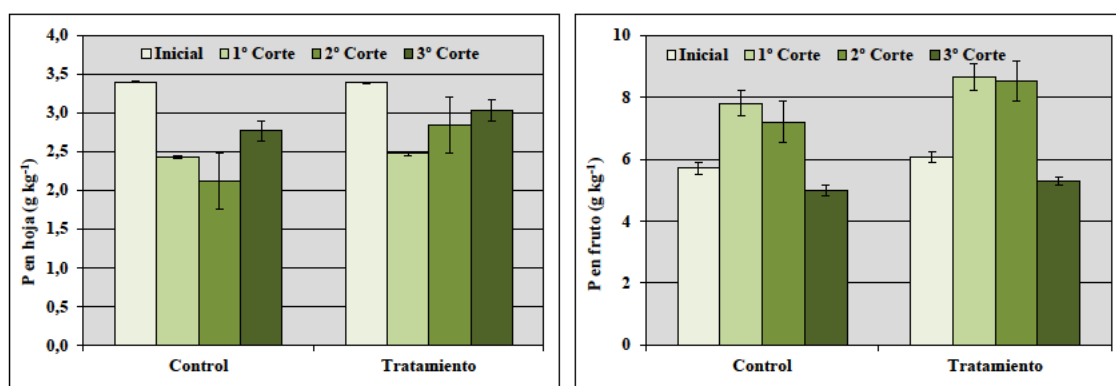
El patrón de distribución de las concentraciones de calcio en el fruto en ambos tratamientos es ligeramente superior en las parcelas tratadas, y muy inferior a las concentraciones registradas en hojas, encontrándose en un rango entre 4-7 mg kg⁻¹, produciéndose un decrecimiento a lo largo del cultivo, siendo más acusado en las parcelas control. Estos resultados indican que el calcio es principalmente translocado a las hojas, mientras que una pequeña concentración se acumula en la piel de los frutos.



Figuras 3.49 y 3.50. Concentraciones de calcio en el cultivo (hoja y fruto) de las parcelas experimentales

En las Figuras 3.51 y 3.52 se muestran las concentraciones de fósforo tanto en hojas como en la piel de los frutos, cuyo rango normal en hojas oscila entre 2-8 g kg⁻¹. Como se puede ver, las concentraciones en hojas son inferiores a las registradas en los frutos, estando en niveles normales en ambos tratamientos, con su máximo (~3,5 g kg⁻¹) un mes después de la aplicación. Además, el patrón de distribución en ambos tratamientos es semejante, donde se produce un descenso después de 1 mes desde la aplicación del fitofortificante, para aumentar ligeramente hasta el 3º corte, siendo las concentraciones ligeramente superiores en las parcelas tratadas.

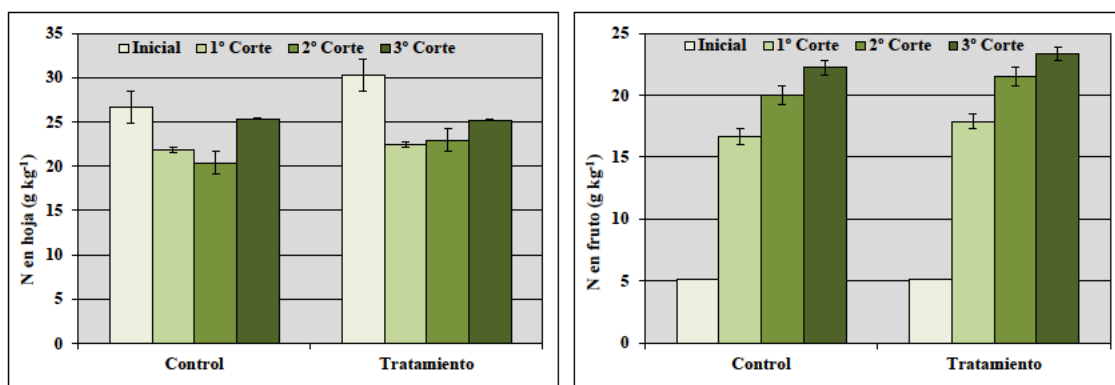
Las concentraciones de fósforo en el fruto se encuentran entre 5-9 g kg⁻¹ en ambos tratamientos a lo largo del cultivo, siendo ligeramente inferiores en las parcelas control. En este caso se observa, para ambos tratamientos, un incremento en la concentración de fósforo en frutos en el periodo que comprende desde un mes tras la aplicación hasta el 1º corte, para disminuir hasta valores iniciales en el 3º corte.



Figuras 3.51 y 3.52. Concentraciones de fósforo en el cultivo (hoja y fruto) de las parcelas experimentales

En las Figuras 3.53 y 3.54 se muestran las concentraciones de nitrógeno tanto en hojas como en la piel de los frutos, cuyo rango normal en hojas oscila entre 20-60 g kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, estando en niveles normales en ambos tratamientos (entre 20-30 g kg⁻¹), indicando que la nutrición del cultivo para este elemento es adecuada. Destacar que el patrón de distribución es semejante al del fósforo, donde se produce un descenso después del 1 mes desde la aplicación del fitofortificante, para aumentar ligeramente hasta el 3º corte.

El patrón de distribución de las concentraciones de nitrógeno en el fruto en ambos tratamientos es muy semejante, al igual que el rango de concentraciones, cuyos valores iniciales se encuentran en 5 g kg⁻¹, produciéndose un incremento muy destacable en el 1º corte y hasta el final del cultivo, alcanzando concentraciones de entre 15-25 g kg⁻¹.



Figuras 3.53 y 3.54. Concentraciones de nitrógeno en el cultivo (hoja y fruto) de las parcelas experimentales

Calidad y producción

En lo referente a la calidad de los frutos recolectados, a continuación se presentan los parámetros evaluados (peso, diámetro axial y ecuatorial, forma, grosor de corteza, grosor de pulpa, dureza de pulpa y °brix) para cada uno de los tres cortes realizados.

En la Figura 3.55 se presentan los pesos medios de los frutos recolectados para cada uno de los tratamientos. Como se puede observar en todos los cortes realizados el peso medio es superior en las parcelas tratadas que en las control, superando los 4 kg en los dos primeros cortes, sin observarse diferencias entre ambos, y superando los 3 kg en el tercero. Por su parte, en las parcelas control los pesos medios se encuentran por debajo de 4 kg y de 3 kg en los dos primeros cortes y en el tercero respectivamente.

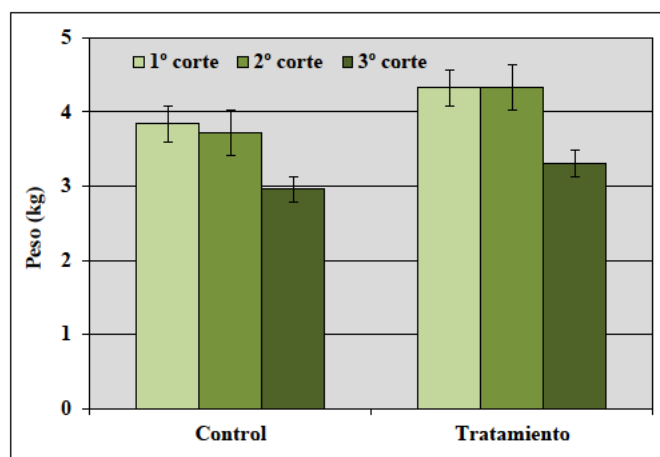
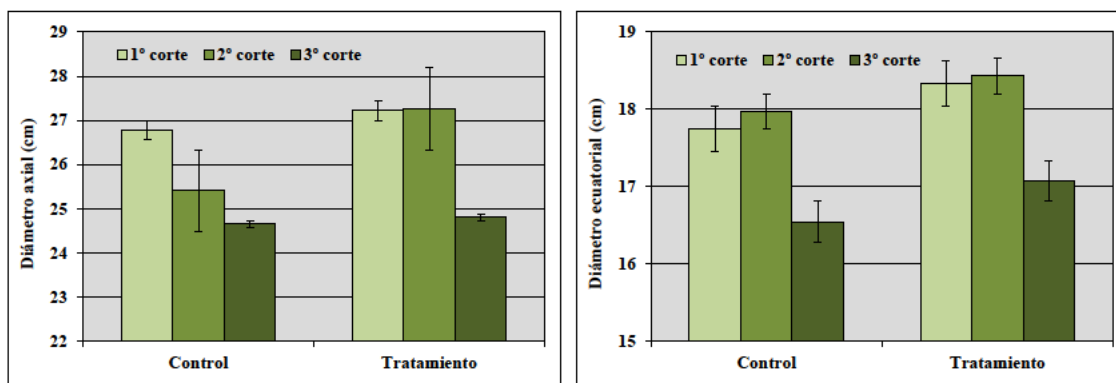


Figura 3.55. Peso de los frutos recolectados en las parcelas experimentales

Referente al tamaño, determinado por la medida de los diámetros axial y ecuatorial, en las Figuras 3.56 y 3.57 se puede ver como los frutos recolectados en las

parcelas tratadas son ligeramente más grandes que en las control, tanto en su diámetro axial como ecuatorial. Destacar que el diámetro axial disminuye progresivamente en las parcelas control, mientras que en las parcelas tratadas se mantiene constante en los dos primeros cortes para disminuir en el tercero.

En cuanto al diámetro ecuatorial, en ambos tratamientos se observa el mismo patrón, donde se produce un ligero aumento en el 2º corte para disminuir significativamente en el tercero.



Figuras 3.56 y 3.57. Diámetro axial y ecuatorial de los frutos recolectados en las parcelas experimentales

En cuanto a la forma de los frutos (Figura 3.58), ésta es relativamente constante entre tratamientos y para los tres cortes realizados, no observándose diferencias que puedan ser atribuidas a la aplicación del fitofortificante.

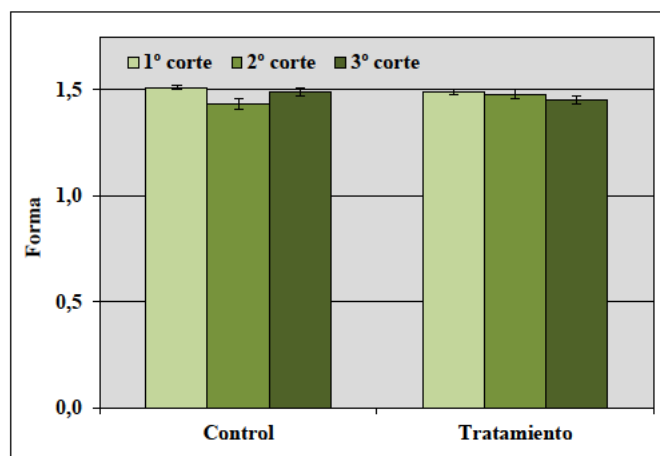
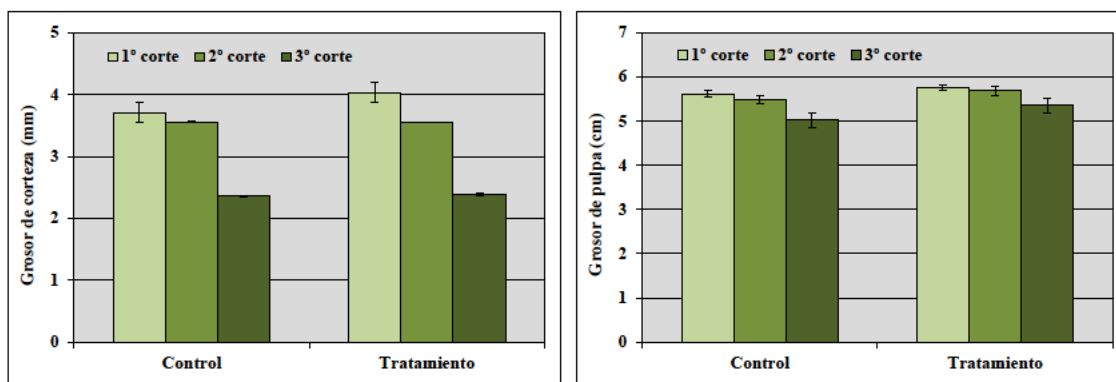


Figura 3.58. Forma (F= diam. axial/diam. ecuatorial) de los frutos recolectados en las parcelas experimentales

Referente al grosor de corteza y pulpa, en las Figuras 3.59 y 3.60 se puede ver como tanto los frutos recolectados en las parcelas control como en las tratadas con el fitofortificante presentan tamaños semejantes (ligeramente superiores en las parcelas tratadas) siguiendo el mismo patrón de distribución, donde se produce una disminución en ambos grosores en los diferentes cortes realizados. Destacar que la disminución en el

grosor de la corteza es mayor que el de la pulpa, lo que indica que la cantidad de fruto comestible se mantiene más constante que la parte no comestible en los diferentes cortes.



Figuras 3.59 y 3.60. Grosor de corteza y pulpa de los frutos recolectados en las parcelas experimentales

En la Figura 3.61 se puede ver como la dureza tanto de los frutos recolectados en las parcelas control como en las tratadas con el fitofortificante es semejante, siguiendo el mismo patrón de distribución, donde se produce un aumento en la misma en el 3º corte realizado, estando en todos los casos por encima de 3 kg.

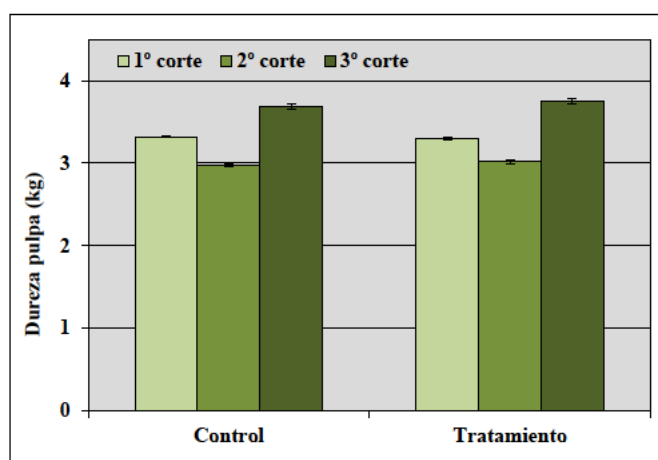


Figura 3.61. Dureza de la pulpa de los frutos recolectados en las parcelas experimentales

En la Figura 3.62 se puede ver que el contenido de azúcares es muy semejante en ambos tratamientos, estando todos ellos por encima de 12 °Brix, observándose un ligero aumento en los frutos recolectados en las parcelas tratadas para el 2º y 3º corte, alcanzando un máximo de 13 °Brix.

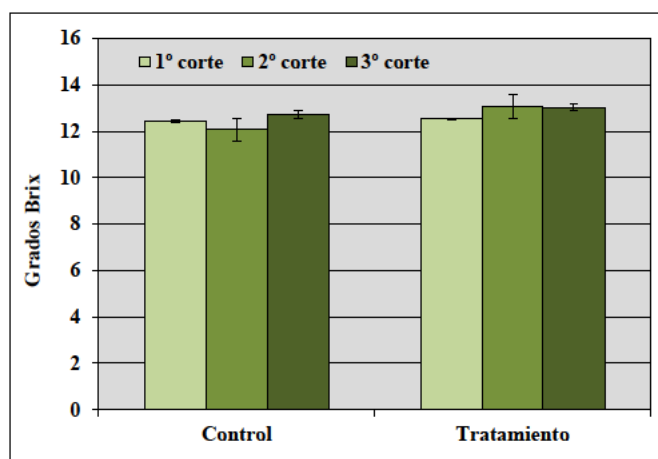
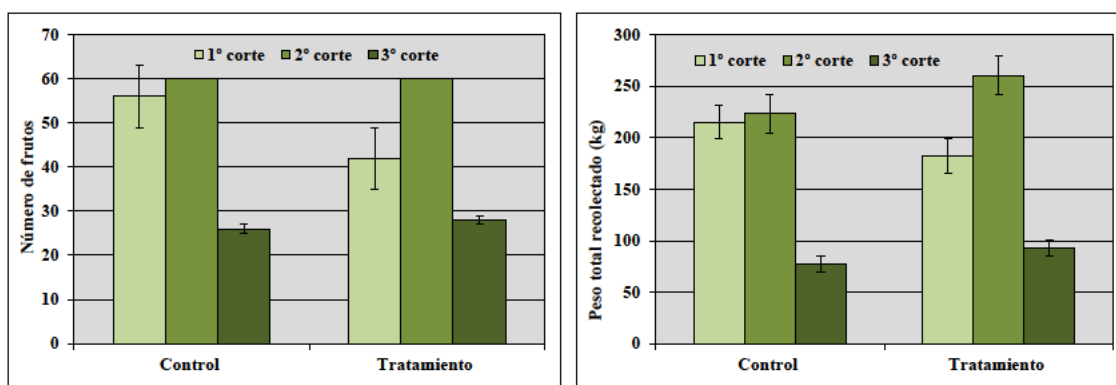


Figura 3.62. °Brix de la pulpa de los frutos recolectados en las parcelas experimentales

Finalmente, en las Figuras 3.63 y 3.64 se puede ver que el número de frutos recolectados en el 1° corte es superior en la parcela control que en las tratadas con el fitofortificante, mientras que en el 2° corte es semejante y en el 3° es ligeramente superior, con un total de 142 y 130 frutos recolectados en las parcelas control y tratadas respectivamente, lo que equivale a 9467 y 8667 frutos/ha o lo que es lo mismo 0,94 y 0,86 frutos m^{-2} . Por lo tanto en cuanto al número de frutos se refiere el fitofortificante no produce un mayor número de los mismos en las parcelas tratadas.



Figuras 3.63 y 3.64. Número de frutos y peso total recolectado en las parcelas experimentales

Por su parte, en lo referente a los kilogramos totales recolectados en cada tratamiento y corte (Figura 6.64), se puede decir que en el 1° corte los kg recolectados en las parcelas control son superiores (215 kg) a los recolectados en las parcelas tratadas (182 kg), mientras que en 2° y 3° corte sucede lo contrario, siendo superiores en el parcelas tratadas (260 y 93 kg respectivamente) que en las parcelas control (223 y 77 kg respectivamente). De forma global, los kg recolectados en las parcelas tratadas asciende a 534 kg lo que equivale a 35,6 t ha^{-1} , mientras que en las parcelas control asciende a 515 kg lo que equivale a 34,3 t ha^{-1} ; por lo que el tratamiento con el fitofortificante incrementa la producción en 1,3 t ha^{-1} .

Cultivo de maíz en Yechar

Propiedades físico-químicas del suelo

Acidez del suelo (pH)

En la Figura 3.65 se presentan los valores de pH tanto antes como al finalizar el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede observar el pH de estos suelos en todas las parcelas estudiadas es moderadamente alcalino con valores cercanos a 8 (Porta *et al.*, 1999), lo cual se debe al alto contenido en carbonatos como se verá posteriormente. No se observa ninguna variación significativa entre tratamientos, ni entre las muestras tomadas antes y después del cultivo.

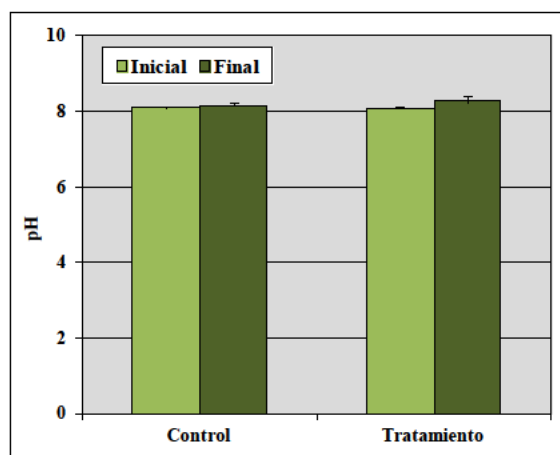


Figura 3.65. pH en las parcelas experimentales

Salinidad (conductividad eléctrica)

En la Figura 3.66 se presentan los valores de conductividad eléctrica tanto antes como al finalizar el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Antes del cultivo, la salinidad de las parcelas estudiadas varía entre $800 \mu\text{S cm}^{-1}$ en las control y $600 \mu\text{S cm}^{-1}$ en las tratadas, por lo que la zona no tiene problemas de salinidad, no esperándose ninguna reducción en la productividad por esta causa.

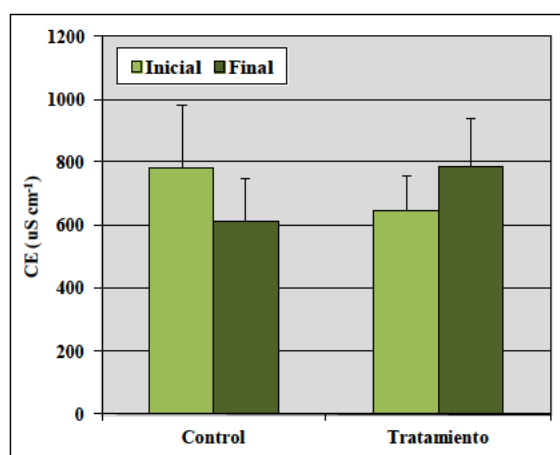
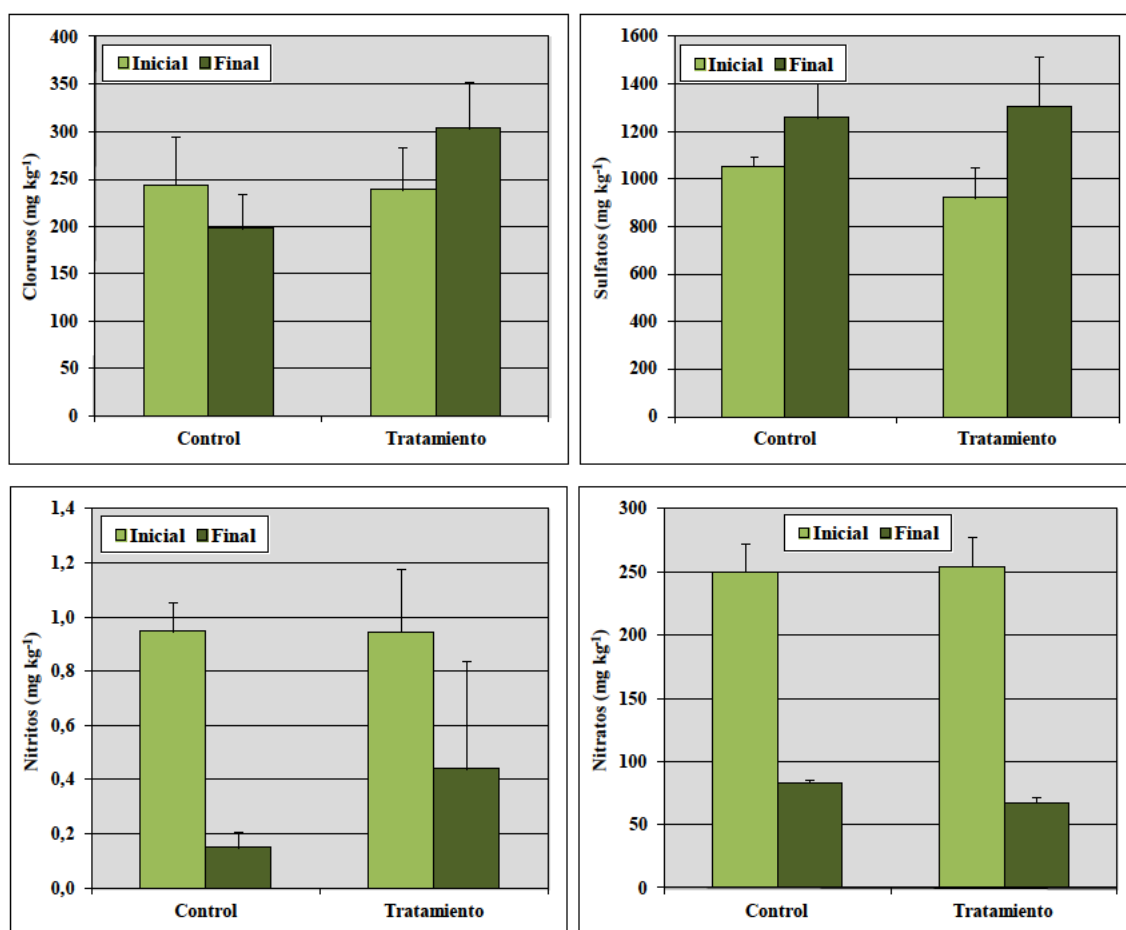


Figura 3.66. Conductividad eléctrica en las parcelas experimentales

Sin embargo, se puede observar que en las parcelas tratadas con el fitofortificante la salinidad aumenta ligeramente, pasando a valores cercanos a $800 \mu\text{S cm}^{-1}$. Por el contrario, en las parcelas control la salinidad disminuye a valores cercanos a $600 \mu\text{S cm}^{-1}$. Estos resultados indican que en las parcelas control se ha producido un lavado de sales solubles durante el cultivo, posiblemente debido al proceso de lixiviación, mientras que en las parcelas tratadas esta lixiviación ha sido impedida, produciéndose una acumulación de las mismas, aspecto que debe de ser estudiado en detalle para conocer con certeza los procesos que favorecen esta acumulación.

Aniones solubles

Como se puede apreciar en la Figura 3.67, antes del cultivo las concentraciones de cloruros, nitritos y nitratos son semejantes en las parcelas control y en las parcelas tratadas, por el contrario en el caso de los sulfatos y fosfatos estos son ligeramente superiores en las parcelas control.



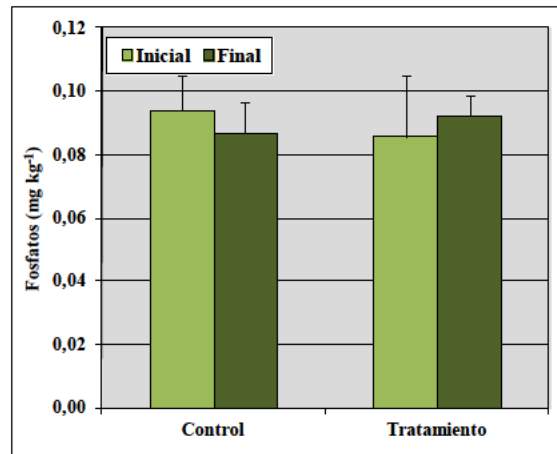
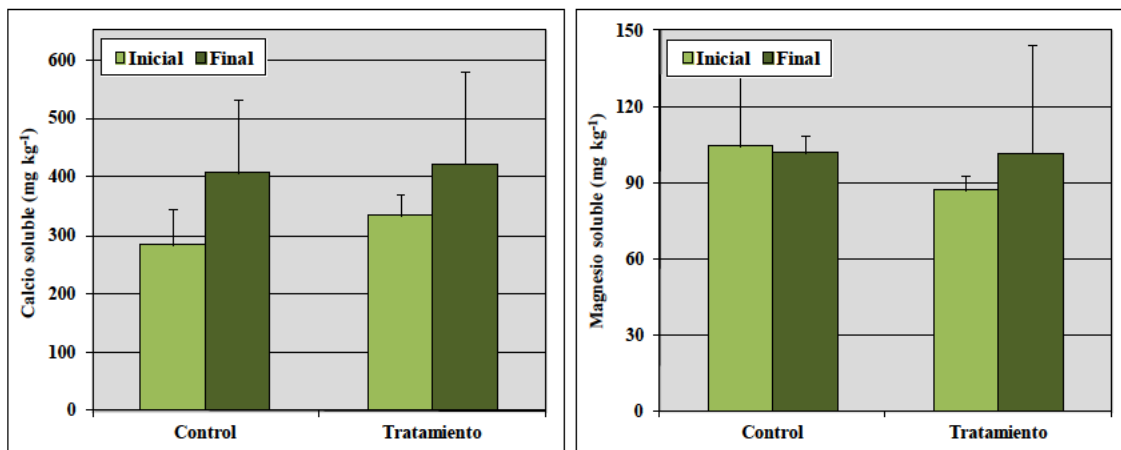


Figura 3.67. Aniones solubles en las parcelas experimentales

Una vez transcurrido el cultivo, se produce un incremento de sulfatos, cloruros y fosfatos en las parcelas tratadas, mientras que en las parcelas control fosfatos y cloruros disminuyen. La pérdida de aniones en las parcelas control, como ya ha sido comentado, puede ser debida al proceso de lixiviación durante la aplicación de agua de riego, por el contrario, la acumulación de estos aniones en las parcelas tratadas indica que esta lixiviación ha sido impedida, lo que ha generado una acumulación de sales en el suelo.

Cationes solubles

En el caso de los cationes solubles al inicio del ensayo, calcio y potasio presentan valores ligeramente superiores en las parcelas tratadas, mientras que los valores sodio y magnesio en las parcelas tratadas son ligeramente inferiores a las control (Figura 3.68). Sin embargo después del cultivo las concentraciones de calcio, magnesio y potasio se incrementaron en las parcelas tratadas, disminuyendo ligeramente en el caso del sodio. Por su parte, en las parcelas control, aumentó la concentración de calcio y potasio para disminuir en el caso de magnesio y sodio.



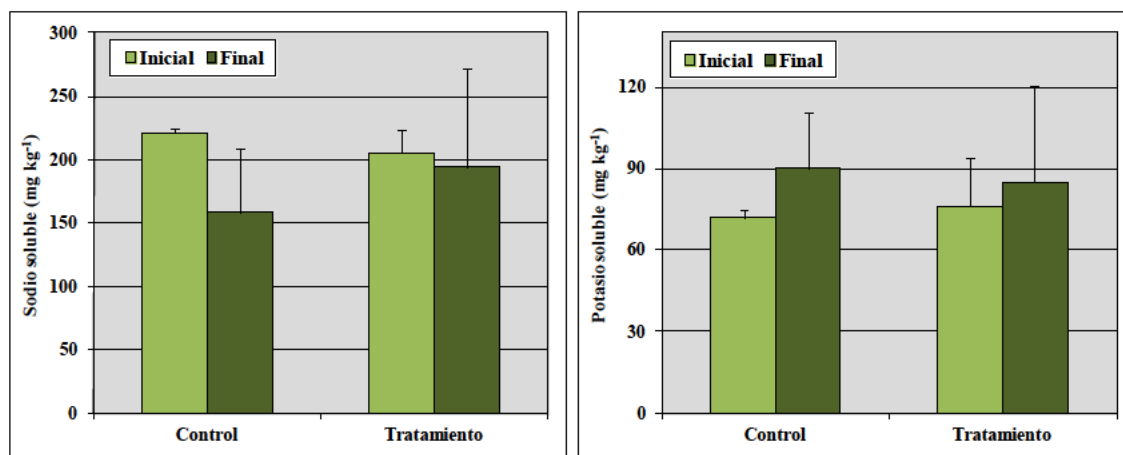


Figura 3.68. Cationes solubles en las parcelas experimentales

Carbono inorgánico (carbonatos)

En la Figura 3.69 se presentan los contenidos de carbonatos tanto antes como al finalizar el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede observar, el contenido en carbonatos es elevado en todas las parcelas (Urbano, 2001), superior al 50 %, siendo ligeramente superiores en las parcelas control. La presencia de estos valores tan elevados pueden causar una deficiencia en la absorción de hierro, manganeso y fósforo por el cultivo en los suelos de estudio.

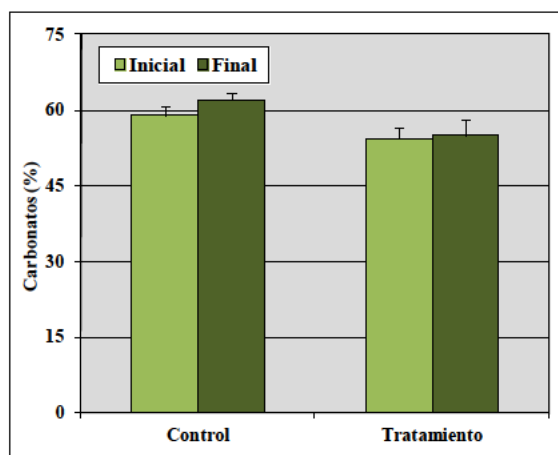


Figura 3.69. Carbonatos en las parcelas experimentales

Carbono orgánico

En la Figura 3.70 se presentan los valores de carbono orgánico tanto antes como al finalizar el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. En todas las parcelas, tanto antes del cultivo como después del mismo, los niveles de carbono orgánico se encuentran cercanos al 0,6 % lo que equivale a un nivel de materia orgánica de 1,03 %, lo que se clasifica como un nivel bajo de MO (Porta *et al.*, 1999). Transcurrido el cultivo, se produce un ligero aumento en las parcelas tratadas con el

fitofortificante lo que podría ser debido a una cierta estabilización de la materia orgánica fresca procedente de los restos vegetales del cultivo por parte de las bacterias.

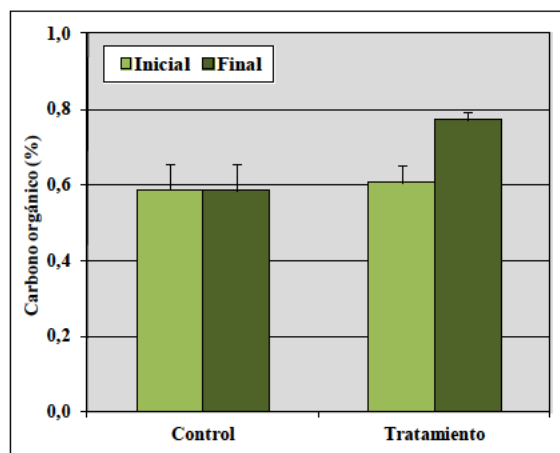


Figura 3.70. Carbono orgánico en las parcelas experimentales

Capacidad de intercambio catiónico

En la Figura 3.71 se presentan los valores de capacidad de intercambio catiónico tanto antes como al finalizar el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede observar, la CIC de estos suelos es bastante homogénea, estando en torno a $8,5 \text{ cmol kg}^{-1}$ en todas las parcelas, lo cual es un valor ligeramente bajo para suelos agrícolas (Thiagalingam, 2000). En lo referente al efecto del tratamiento, no se observa ninguna variación significativa debida al efecto de la aplicación del fitofortificante.

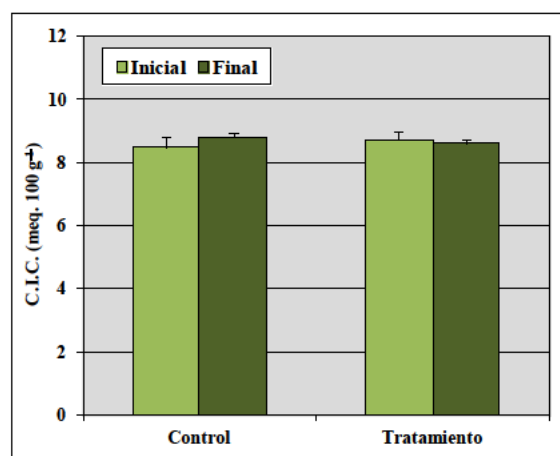


Figura 3.71. Capacidad de intercambio catiónico en las parcelas experimentales

Granulometría

En la Figura 3.72 se presentan los porcentajes de arcilla, limo y arena tanto antes como al finalizar el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede ver el suelo de las parcelas presenta porcentajes de arena entre 45-50 %, de arcilla entre 25-30 % y de limo 20-25 %, con porcentajes de arcilla ligeramente inferiores y de arena ligeramente superiores en las parcelas control que en las parcelas tratadas, por lo que los suelos se pueden catalogar como areno arcillo limoso (FAO, 2006). No existiendo diferencias significativas entre antes y después del cultivo.

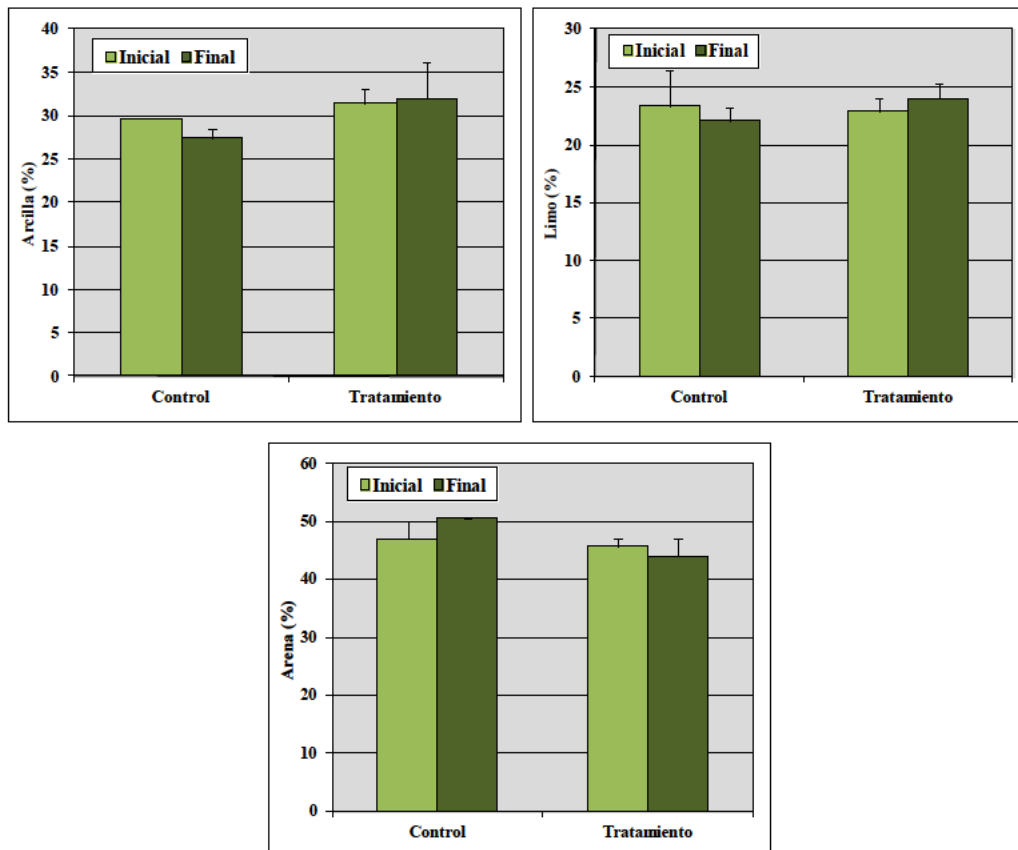


Figura 3.72. Arcilla, limo y arena en las parcelas experimentales

Relación C/N

En la Figura 3.73 se presentan los valores de la relación C/N tanto antes como al finalizar el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Antes de realizar el cultivo, los valores de la relación C/N se encuentran próximos a 14 en ambos tratamientos, lo que son catalogados como valores ligeramente altos, con una liberación de nitrógeno de normal a escasa. Trascurrido el cultivo, debido al incremento que se produce probablemente por la aplicación de fertilización nitrogenada en ambos tratamientos, la relación C/N disminuye, indicando una mayor liberación de N y un ligero agotamiento del suelo, siendo ligeramente superior en el caso de la aplicación del fitofortificante.

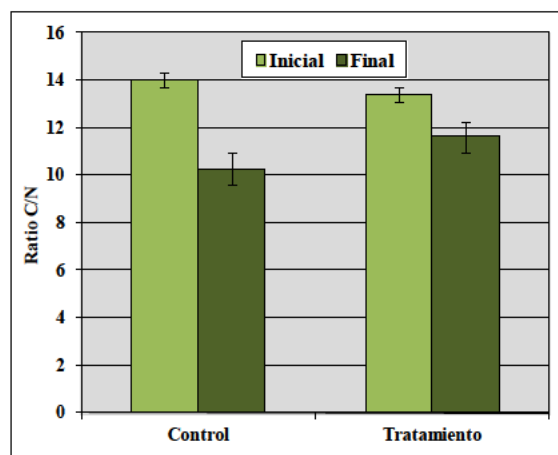


Figura 3.73. Relación C/N en las parcelas experimentales

Nitrógeno total

En la Figura 3.74 se presentan los valores de nitrógeno durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Antes de realizar el cultivo, los niveles de nitrógeno total se encuentran entorno al $0,4 \text{ g kg}^{-1}$ lo que se puede considerar un valor bajo en suelos agrícolas (Urbano, 2001).

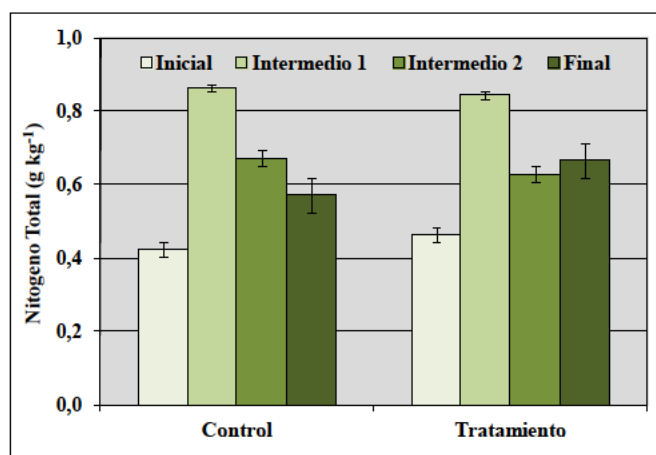


Figura 3.74. Nitrógeno total en las parcelas experimentales

Como se puede apreciar, tanto en las parcelas control como en las tratadas con el fortificante se produce un aumento en la concentración de nitrógeno hasta el 1º muestreo intermedio, posiblemente debido a la aplicación de este elemento con el abonado. Pasado el 1º muestreo intermedio se produce un consumo de este nitrógeno por parte del cultivo que ocasiona una pérdida del mismo en el suelo, llegando a niveles muy semejantes en ambos tratamientos.

Fósforo asimilable

En la Figura 3.75 se presentan los valores de fósforo asimilable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de fósforo asimilable antes del cultivo en todas las parcelas son medios (Porta *et al.*, 1999), ~23 mg kg⁻¹, por lo que podrían surgir deficiencias nutricionales por causa de este elemento, si se produjera un consumo del mismo por parte del cultivo.

Sin embargo, como se puede apreciar, en ambos tratamientos se produce un aumento de fósforo asimilable que se observa desde el primer muestreo intermedio y se mantiene hasta el final del cultivo. No obstante, en el caso del tratamiento con el fitofortificante este aumento es significativamente superior, llegando a 40 mg kg⁻¹, indicando que los microorganismos promueven la liberación de fósforo incrementando la fertilidad del suelo.

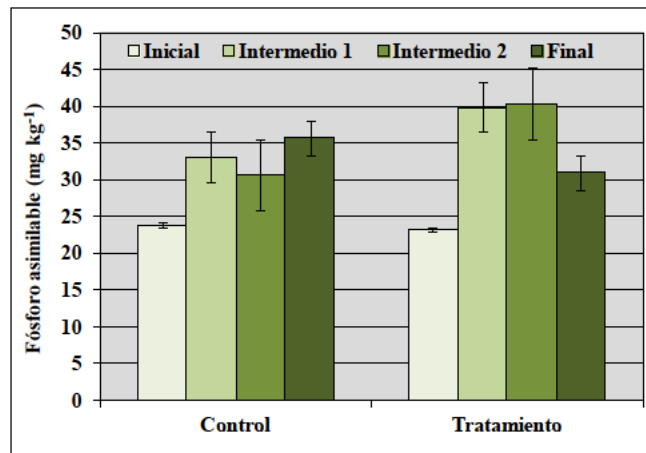


Figura 3.75. Fósforo asimilable en las parcelas experimentales

Oligoelementos asimilables (Cu, Fe, Zn y Mn)

Cobre asimilable

En la Figura 3.76 se presentan los valores de cobre asimilable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de cobre asimilable antes del cultivo en todas las parcelas son adecuados (Thiagalingam, 2000), estando en todos los casos por encima de 2 mg kg⁻¹, por lo que no se esperan deficiencias nutricionales por causa de este elemento.

Sin embargo, se produce una disminución en la concentración de este elemento en las parcelas control, alcanzando valores ligeramente inferiores a 2 mg kg⁻¹. Por el contrario, en las parcelas tratadas se produce un incremento en dicha concentración, alcanzando valores de 3 mg/kg. De estos resultados se puede decir que la aplicación del

fitofortificante incrementa ligeramente la biodisponibilidad de este elemento en el suelo, mejorando su fertilidad.

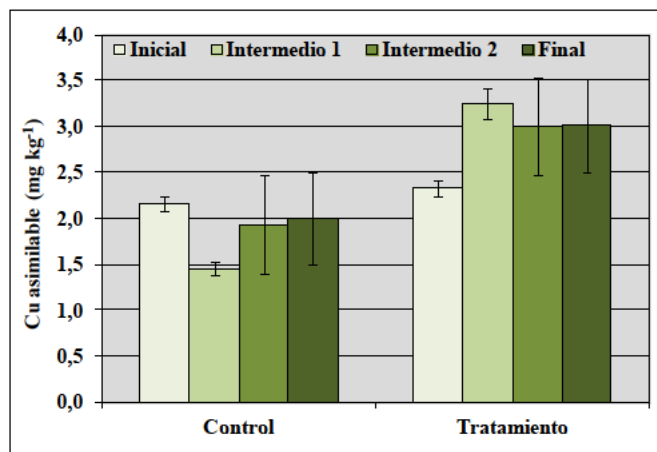


Figura 3.76. Cobre asimilable en las parcelas experimentales

Hierro asimilable

En la Figura 3.77 se presentan los valores de hierro asimilable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de hierro asimilable antes del cultivo en todas las parcelas son bajos (Thiagalingam, 2000), estando en todos los casos por debajo de 2 mg kg^{-1} , por lo que se podrían dar problemas de deficiencias nutricionales por causa de este elemento, posiblemente debido al alto contenido en carbonatos y el alto pH de estos suelos.

Al igual que en el caso del cobre, en las parcelas control se produce una ligera disminución en la concentración de este elemento a lo largo del cultivo. Sin embargo, en las parcelas tratadas las concentraciones de hierro aumentan hasta superar los $3,5 \text{ mg kg}^{-1}$. De estos resultados se puede decir que la aplicación del fitofortificante podría estar favoreciendo la liberación y, por lo tanto, la biodisponibilidad de este elemento en el suelo.

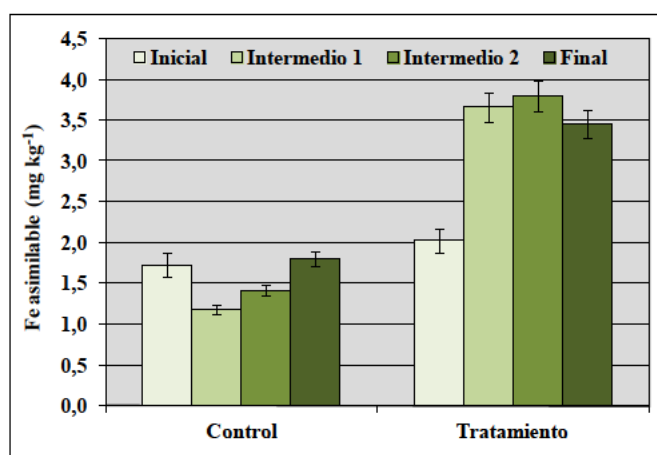


Figura 3.77. Hierro asimilable en las parcelas experimentales

Zinc asimilable

En la Figura 3.78 se presentan los valores de zinc asimilable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Las concentraciones de zinc asimilable antes de realizar el cultivo son elevados (Thiagalingam, 2000), superando en todas las parcelas los 8 mg kg^{-1} , por lo que no se espera que exista deficiencias nutricionales por este elemento durante el cultivo.

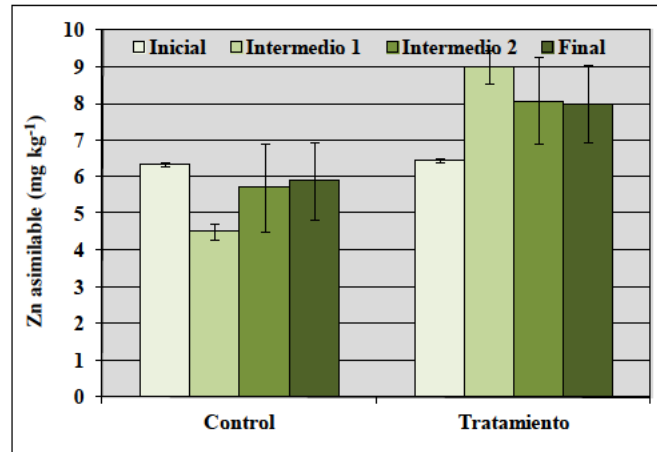


Figura 3.78. Zinc asimilable en las parcelas experimentales

Como una tendencia que se repite en los oligoelementos anteriores, el zinc asimilable tiende a incrementarse durante el cultivo en las parcelas tratadas y a disminuir en las parcelas control, observando este incremento en el 1º muestreo intermedio y manteniéndose los niveles registrados hasta el final del cultivo. Por lo que nuevamente la aplicación del fitofortificante podría estar favoreciendo la liberación y, por lo tanto, la biodisponibilidad de este elemento en el suelo.

Manganeso asimilable

En la Figura 3.79 se presentan los valores de manganeso asimilable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de manganeso asimilable antes del cultivo en todas las parcelas son adecuados (Thiagalingam, 2000), estando en todos los casos próximos a 6 mg kg^{-1} , por lo que no se esperan deficiencias nutricionales por causa de este elemento.

La tendencia general es muy semejante a la observada en el caso de los oligoelementos anteriormente mencionados, produciéndose en este caso un ligero aumento en la concentración de este elemento en las parcelas tratadas, y una disminución en las parcelas control. De estos resultados se puede decir que la aplicación

del fitofortificante aumenta ligeramente la liberación y, por lo tanto, la biodisponibilidad de este elemento en el suelo.

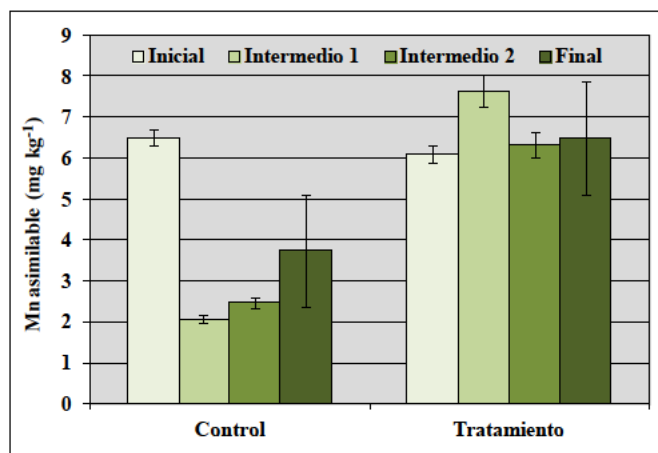


Figura 3.79. Manganeso asimilable en las parcelas experimentales

Cationes de cambio

Potasio intercambiable

En la Figura 3.80 se presentan los valores de potasio intercambiable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. En general, los contenidos de potasio en las parcelas de estudio y antes del cultivo son ligeramente bajos (Horneck, 2011), con valores cercanos a 0,4 meq 100g⁻¹.

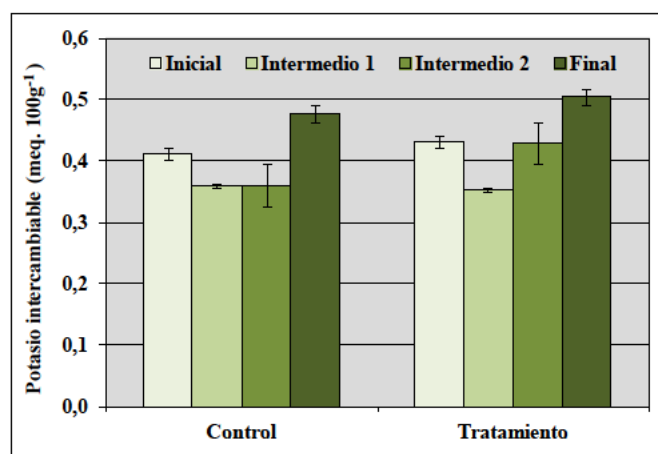


Figura 3.80. Potasio intercambiable en las parcelas experimentales

Como se puede observar en la figura anterior el potasio intercambiable sigue un patrón semejante entre el tratamiento control y la aplicación del fitofortificante, donde se aprecia una ligera disminución en la concentración intercambiable de potasio al

comienzo del cultivo seguido de un ligero aumento al final del mismo llegando únicamente a $0,5 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, lo que podría ocasionar una deficiencia en este elemento.

Magnesio intercambiable

En la Figura 3.81 se presentan los valores de magnesio intercambiable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. En general los contenidos de magnesio en las parcelas de estudio y antes del cultivo son bajos (Horneck, 2011), con valores cercanos a $0,9 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, por lo que podrían darse carencias nutricionales por este elemento a lo largo del cultivo.

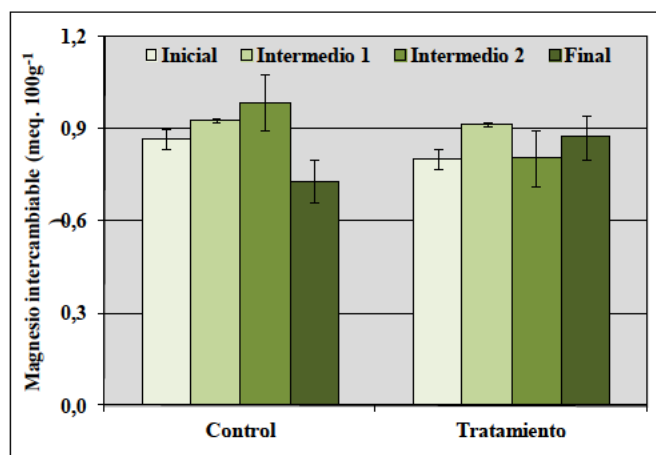


Figura 3.81. Magnesio intercambiable en las parcelas experimentales

Como se puede ver en la figura anterior, se aprecia un ligero aumento en la concentración intercambiable de magnesio al comienzo del cultivo en el tratamiento control con una reducción en el periodo de recolección. Por el contrario, en las parcelas tratadas con el fitofortificante las concentraciones a lo largo del cultivo se mantienen más homogéneas, no observándose dicha reducción en el periodo de recolección.

Calcio intercambiable

En la Figura 3.82 se presentan los valores de calcio intercambiable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los contenidos iniciales de calcio intercambiable en todas las parcelas de estudio son medios (Thiagalingam, 2000), estando en ambos tratamientos cercanos a $6 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, lo que era de esperar por el alto contenido en carbonatos de estos suelos. Al contrario que en los casos anteriores los valores de calcio en ambos tratamientos son muy semejantes tanto entre ellos como durante el cultivo, a excepción del muestreo final en las parcelas control

cuyo contenido aumenta ligeramente, manteniéndose en valores elevados, siendo el catión mayoritario en el complejo de cambio.

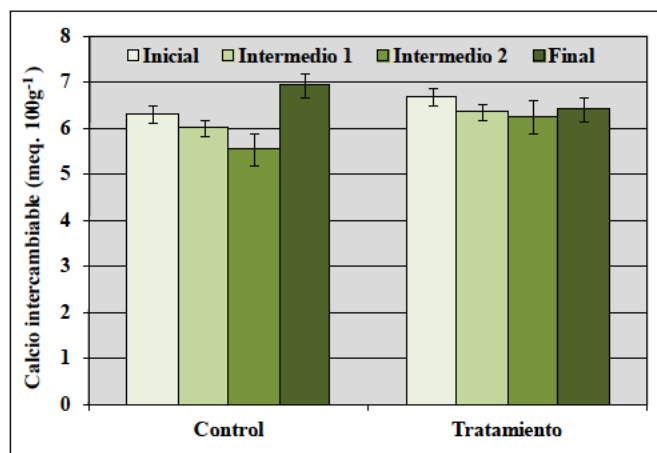


Figura 3.82. Calcio intercambiable en las parcelas experimentales

Sodio intercambiable

En la Figura 3.83 se presentan los valores de sodio intercambiable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede observar en la figura anterior, los contenidos de sodio intercambiable son medios-bajos en ambos tratamientos (Thiagalingam, 2000). Sin embargo, en las parcelas control las concentraciones de sodio en el complejo de cambio aumentan en el primer muestreo intermedio para disminuir progresivamente hasta el final del cultivo. Por el contrario, en las parcelas tratadas los contenidos de este elemento se mantienen relativamente constantes durante el cultivo.

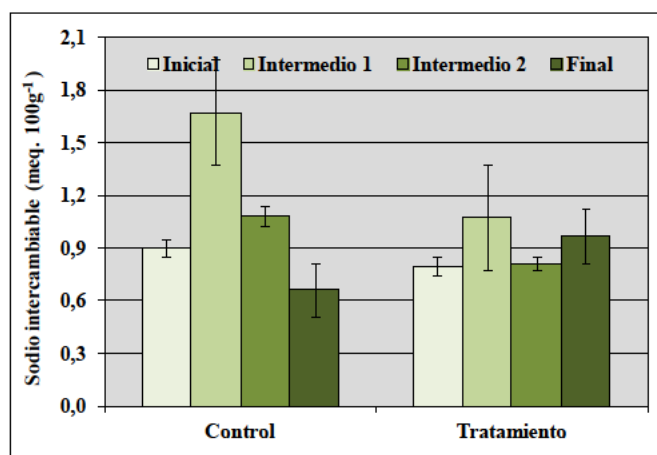


Figura 3.83. Sodio intercambiable en las parcelas experimentales

Relaciones entre cationes de cambio

Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

En la Figura 3.84 se presentan los valores de porcentaje de sodio intercambiable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante.

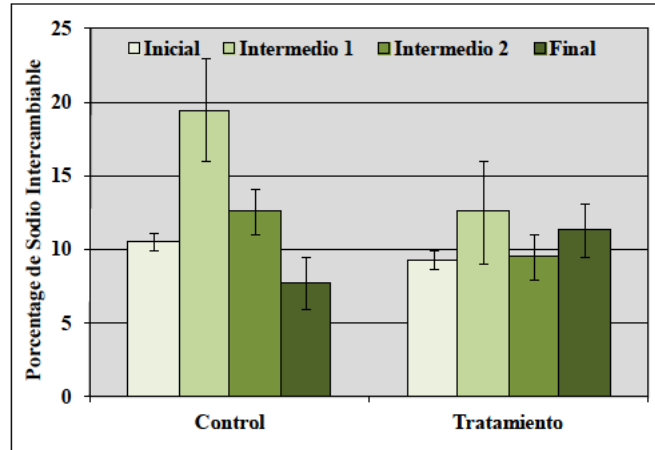


Figura 3.84. Porcentaje de sodio intercambiable en las parcelas experimentales

Al inicio del ensayo, en todas las parcelas el PSI se encuentra próximo a 10, por lo que no se espera tener problemas de estabilidad estructural. Sin embargo, como ocurre en el caso del sodio intercambiable, el porcentaje de sodio intercambiable tiende a aumentar al inicio del cultivo en las parcelas control, llegando a valores cercanos a 20 lo que podría ocasionar ligeros problemas de estabilidad de agregados. No obstante, este valor disminuye rápidamente, manteniéndose en valores cercanos a 10 en ambos tratamientos. Destacar que las parcelas tratadas los valores de PSI son más homogéneos y se mantienen en valores bajos durante todo el cultivo.

Relación Ca/Mg

En la Figura 3.85 se presentan los valores de la relación Ca/Mg durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar los valores de la relación Ca/Mg al inicio del cultivo se encuentran entre 7 (tratamiento control) y 9 (aplicación del fitofortificante), por lo que no se espera deficiencia de ninguno de estos elementos para el cultivo. Estos valores se mantienen relativamente constantes durante el cultivo en ambos tratamientos, a excepción de un ligero aumento observado en el último muestreo en las parcelas control, no obstante en todos los casos el ratio Ca/Mg se encuentra por encima de 1 y por debajo de 10, límites que indican posibles déficit nutricionales de estos elementos.

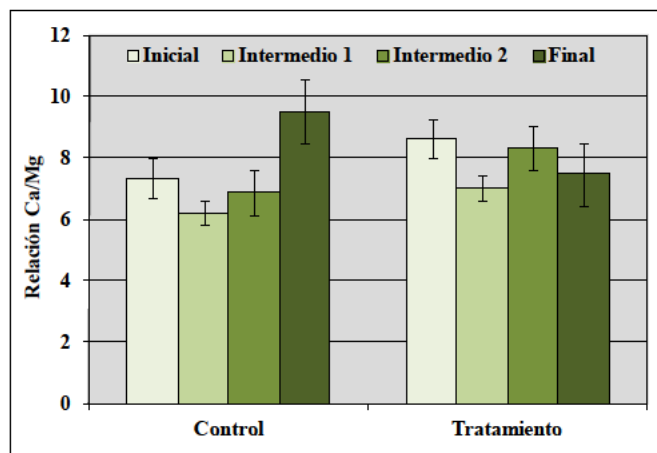


Figura 3.85. Relación Ca/Mg en las parcelas experimentales

Relación K/Mg

En la Figura 3.86 se presentan los valores de la relación K/Mg durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar los valores de K/Mg durante todo el cultivo son altos en ambos tratamientos, estando todos ellos por encima de 0,5; lo que indica que podría haberse producido una deficiencia de magnesio durante el cultivo. Destacar que el mayor valor se produce al inicio del cultivo en las parcelas control, para disminuir significativamente en los muestreos intermedios y volver a aumentar al final del cultivo; patrón que se repite en las parcelas tratadas pero sin llegar a valores tan elevados.

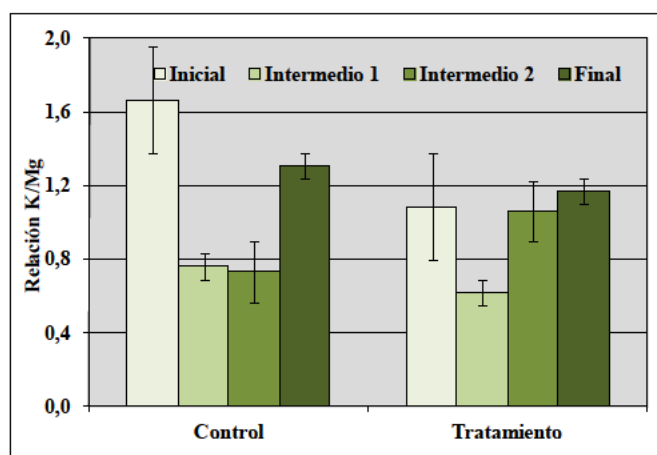


Figura 3.86. Relación K/Mg en las parcelas experimentales

Propiedades microbiológicas/bioquímicas del suelo

Carbono de la biomasa microbiana

En la Figura 3.87 se presentan los valores de carbono de la biomasa microbiana durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de CBM antes del cultivo son en general bajos, todos ellos inferiores a 80 mg C kg^{-1} , indicando un bajo contenido de microorganismos en dichas parcelas antes de proceder al cultivo, manteniéndose en estos niveles durante el cultivo en ambos tratamientos, a excepción del último muestreo en las parcelas tratadas que aumenta, lo que garantiza una cierta actividad microbiana que favorecerá los procesos biogeoquímicos en el cultivo siguiente.

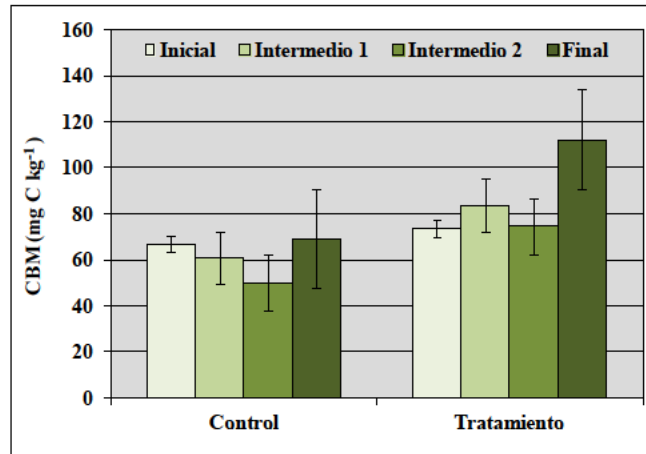


Figura 3.87. Carbono de la biomasa microbiana en las parcelas experimentales

Respiración

En la Figura 3.88 se presentan los valores de respiración basal durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de respiración antes del cultivo son en general bajos, con valores próximos a $1,5 \text{ mg C-CO}_2 \text{ kg h}^{-1}$, indicando una baja actividad microbiana en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

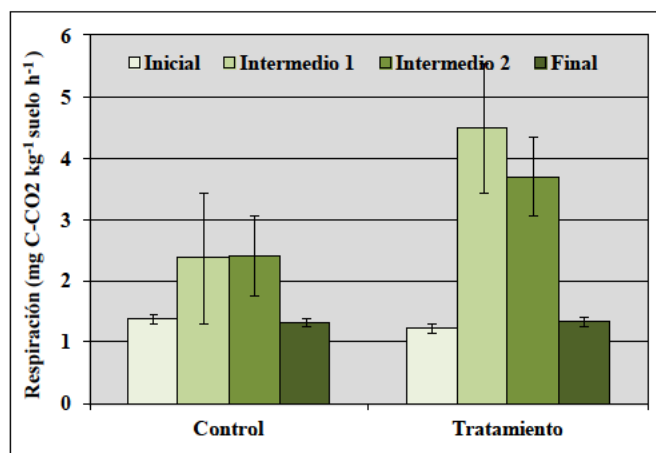


Figura 3.88. Respiración en las parcelas experimentales

Sin embargo, una vez se ha implantado el cultivo en ambos tratamientos se produce un incremento en la actividad microbiana, siendo más acusado en el caso de las parcelas tratadas con el fitofortificante, llegando a $4,4 \text{ mg C-CO}_2 \text{ kgh}^{-1}$, para disminuir bruscamente al final del cultivo, llegando a valores semejantes en ambos tratamientos e iguales a los encontrados al inicio del cultivo.

Actividad fosfatasa

En la Figura 3.89 se presentan los valores de actividad fosfatasa durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de actividad fosfatasa antes del cultivo en las parcelas de estudio de ambos tratamientos son en general bajos, en ambos tratamientos cercanos al $0,6 \text{ } \mu\text{mol P-nitrofenol gh}^{-1}$, indicando una baja actividad fosfatasa en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

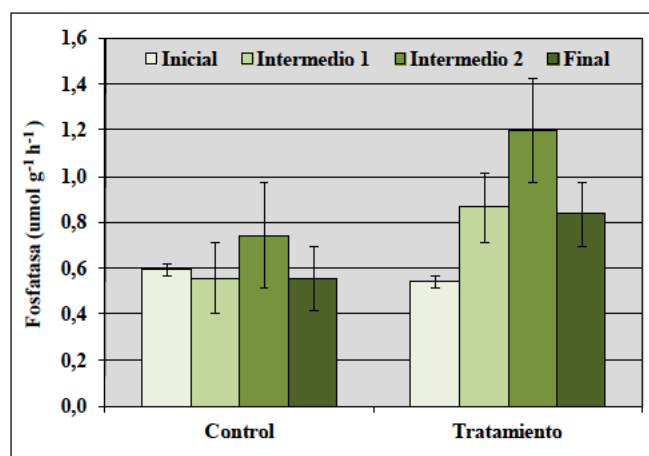


Figura 3.89. Actividad fosfatasa en las parcelas experimentales

Por el contrario, se produce un ligero aumento en dicha actividad en las parcelas control en el segundo muestreo intermedio. Sin embargo, en las parcelas tratadas este aumento es significativamente superior, debido al incremento de los microorganismos en las parcelas tratadas con el fitofortificante, lo cual favorece el incremento de la actividad fosfatasa, donde los valores alcanzan los $1,2 \mu\text{mol P-nitrofenol gh}^{-1}$ en el segundo de los muestreos intermedios, favoreciendo la liberación de fósforo asimilable para el cultivo (Figura 3.75). Posteriormente, se produce una disminución de la actividad fosfatasa, hasta alcanzar valores de $0,6 \mu\text{mol P-nitrofenol gh}^{-1}$ en las parcelas tratadas y de $0,8 \mu\text{mol P-nitrofenol gh}^{-1}$ en las tratamientos al final del cultivo.

Actividad ureasa

En la Figura 3.90. se presentan los valores de actividad ureasa durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de actividad ureasa antes del cultivo en las parcelas estudiadas son muy bajos, todos ellos cercanos a $0,15 \mu\text{mol NH}_4 \text{ gh}^{-1}$, indicando una baja actividad ureasa en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

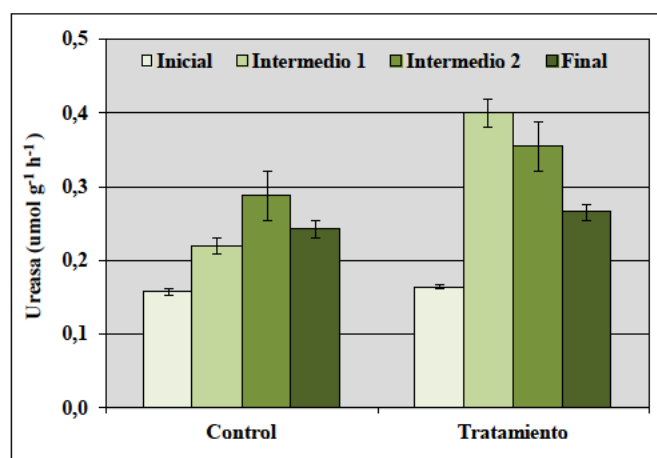


Figura 3.90. Actividad ureasa en las parcelas experimentales

Sin embargo, en las parcelas control se produce un aumento progresivo en dicha actividad hasta el segundo muestreo intermedio, indicando que durante el desarrollo del cultivo se produce una activación natural de los microorganismos. De forma similar, se observa un aumento en esta actividad en las parcelas tratadas, aunque en este caso este aumento es muy superior a las parcelas control ($0,4 \mu\text{mol NH}_4 \text{ gh}^{-1}$), por lo que el fitofortificante incrementa de forma significativa la actividad de esta enzima, dando como resultado una mayor liberación de nitrógeno asimilable. Sin embargo, pasado el primer muestreo intermedio en las parcelas tratadas se observa una disminución

progresiva en dicha actividad, que alcanza valores semejantes a las parcelas control ($0,25 \mu\text{mol NH}_4 \text{ gh}^{-1}$)

Actividad β -glucosidasa

En la Figura 3.91 se presentan los valores de actividad β -glucosidasa durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de actividad β -glucosidasa antes del cultivo varían entre $0,15$ y $0,20 \mu\text{mol P-nitrofenol gh}^{-1}$, indicando una baja actividad β -glucosidasa en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

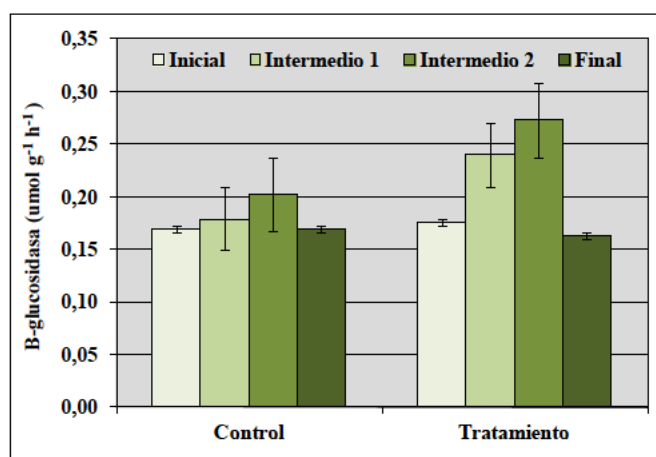


Figura 3.91. Actividad β -glucosidasa en las parcelas experimentales

Como se aprecia en la figura anterior, se produce un ligero aumento en dicha actividad en las parcelas control, mientras que en las parcelas tratadas este aumento es más pronunciado, con su máximo en el segundo muestreo intermedio ($0,27 \mu\text{mol P-nitrofenol gh}^{-1}$). Posteriormente se produce una disminución en dicha actividad hasta alcanzar valores semejantes a los iniciales en ambos tratamientos ($0,16 \mu\text{mol P-nitrofenol gh}^{-1}$).

Balance nutricional

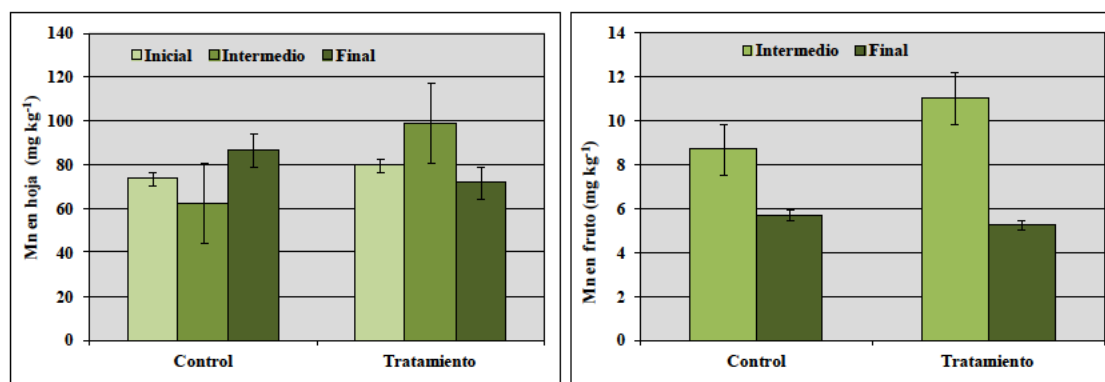
A continuación se presentan las concentraciones de nutrientes en el cultivo de maíz, tanto en hojas como en el grano de las mazorcas, para los periodos: inicial (25 de Julio de 2014), intermedio (9 de septiembre de 2014) y final (24 de octubre 2014).

Micronutrientes

En las Figuras 3.92 y 3.93 se muestran las concentraciones de manganeso tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre

30-100 mg kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, estando en niveles normales en ambos tratamientos, aunque se observan mayores acumulaciones en las parcelas tratadas. Destacar que se produce una disminución al final del cultivo en las parcelas tratadas, hasta alcanzar valores ligeramente inferiores en las parcelas tratadas que en las control.

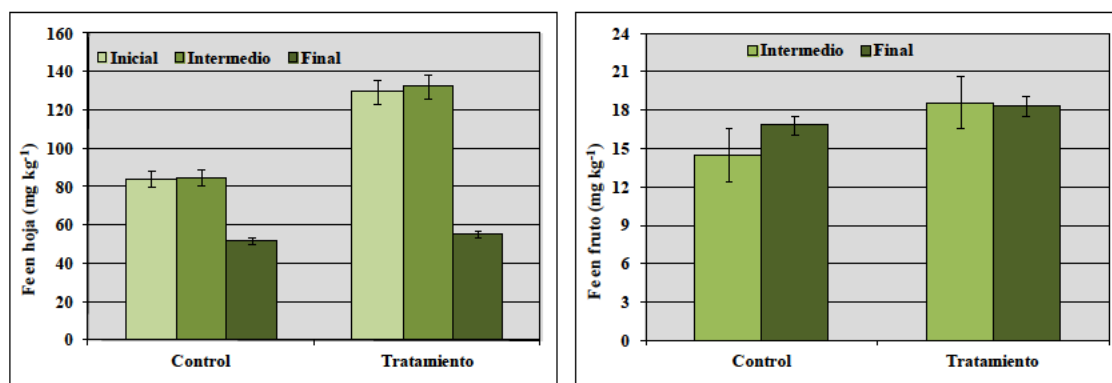
En los granos, en ambos tratamientos, las concentraciones de manganeso se encuentran en un rango entre 5-11 mg kg⁻¹, siendo el mismo patrón de distribución, donde las concentraciones de Mn se producen en el muestreo intermedio (8 mg kg⁻¹ en el control, y 11 mg kg⁻¹ en las tratadas), para disminuir a valores semejantes al final del cultivo (5-6 mg kg⁻¹).



Figuras 3.92 y 3.93. Concentraciones de manganeso en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

En las Figuras 3.94 y 3.95 se muestran las concentraciones de hierro tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre 50-250 mg kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, estando en niveles normales en ambos tratamientos, alcanzando los 80 y 130 mg kg⁻¹ en las parcelas control y en las tratadas respectivamente en los muestreos inicial e intermedio, indicando que no se ha producirse bloqueo de hierro debido tanto al alto porcentaje de carbonatos como al alto valor de pH de estos suelos. Destacar que se produce una importante disminución de este elemento al final del cultivo en ambos tratamientos hasta llegar a valores semejantes (50 mg kg⁻¹/kg).

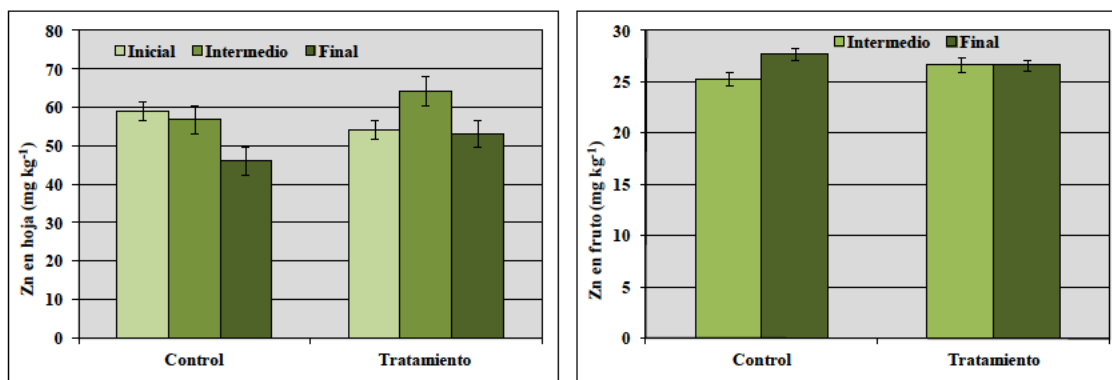
En los granos, las concentraciones de hierro en las parcelas tratadas alcanzan una concentración de 18 mg kg⁻¹, siendo ligeramente superiores que en las parcelas control donde se alcanzan los 15-16 mg kg⁻¹.



Figuras 3.94 y 3.95. Concentraciones de hierro en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

En las Figuras 3.96 y 3.97 se muestran las concentraciones de zinc tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre 25-50 mg kg⁻¹. Como se puede ver, las concentraciones en hojas son superiores a las registradas en los granos, siendo semejantes y estando en niveles ligeramente superiores a los normales en ambos tratamientos, lo que indica un ligero exceso de este elemento en hojas por lo que no sería necesario abonado complementario en este elemento.

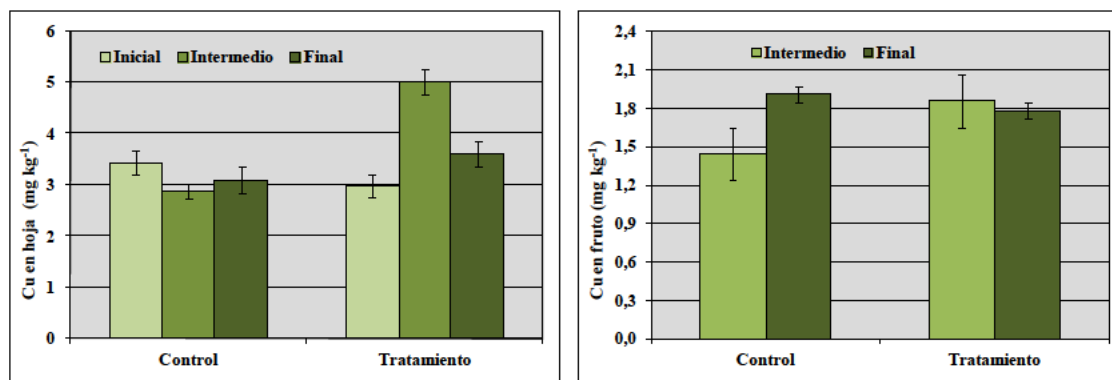
Las concentraciones de zinc en los granos, en ambos tratamientos, se encuentran en un rango entre 25-30 mg kg⁻¹, siendo semejantes en ambos tratamientos.



Figuras 3.96 y 3.97. Concentraciones de zinc en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

En las Figuras 3.98 y 3.99 se muestran las concentraciones de cobre tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre 6-20 mg kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, entando en niveles deficitarios en ambos tratamientos (entre 3-5 mg kg⁻¹), indicando que la nutrición del cultivo para este elemento no ha sido adecuada. Destacar que las parcelas tratadas presentan concentraciones ligeramente superiores, en los muestreos intermedio y final, a las encontradas en las parcelas control, por lo que lo síntomas de déficit serían inferiores.

El patrón de distribución de las concentraciones de cobre en los granos de las mazorcas es diferente entre tratamientos, encontrándose en valores cercanos a $1,8 \text{ mg kg}^{-1}$ en ambos muestreos en las parcelas tratadas y en el muestreo final en las parcelas control, mientras que en el muestreo intermedio de las parcelas control se encuentra próximo a $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$.

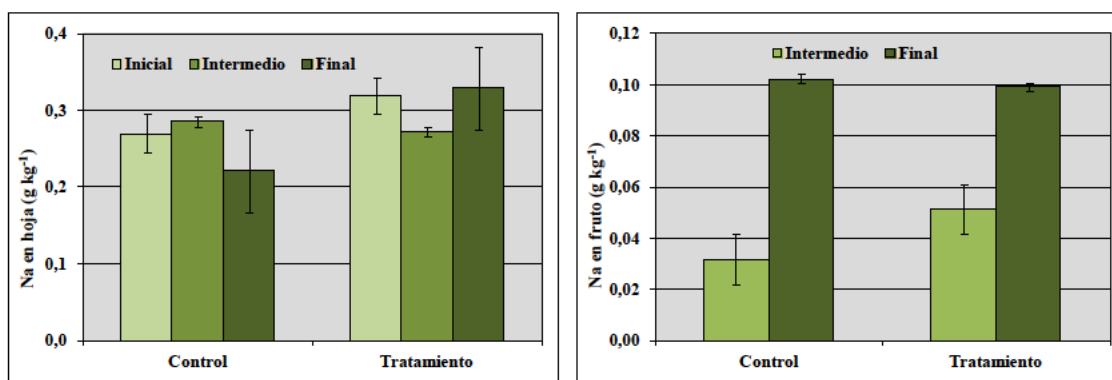


Figuras 3.98 y 3.99. Concentraciones de cobre en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

Macronutrientes

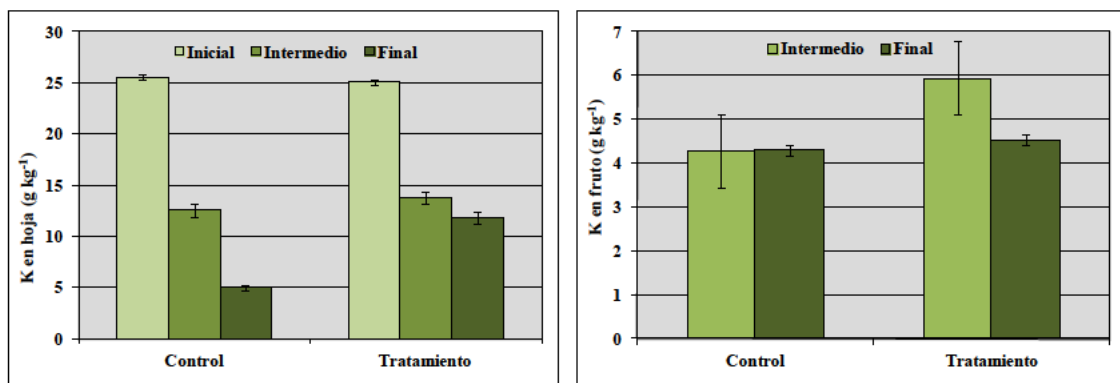
En las Figuras 3.100 y 3.101 se muestran las concentraciones de sodio tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre $0,1-0,3 \text{ g kg}^{-1}$. Como se puede ver, las concentraciones en hojas son superiores a las registradas en los granos, estando en niveles normales en el tratamiento control, y ligeramente superiores en el tratamiento con el fitofortificante, por lo que éste produce una mayor absorción de este elemento por el cultivo.

Las concentraciones de sodio en los granos siguen el mismo patrón de distribución en ambos tratamientos, donde el muestreo inicial presenta las menores concentraciones con valores de $0,03$ y $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ en las parcelas control y tratadas respectivamente, alcanzando valores de $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ al final del cultivo para ambos tratamientos.



Figuras 3.100 y 3.101. Concentraciones de sodio en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

En las Figuras 3.102 y 3.103 se muestran las concentraciones de potasio tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre 18-30 g kg⁻¹. Como se puede ver, las concentraciones en hojas son superiores a las registradas en los granos, estando en niveles deficitarios en ambos tratamientos, a excepción del primer muestreo donde los niveles superan los 18 g kg⁻¹. Además, el patrón de distribución en ambos tratamientos es semejante, donde se produce un descenso progresivo hasta el final del cultivo, siendo este descenso más acusado en las parcelas control. Estos resultados indican que ha existido una deficiencia de este elemento para el cultivo y debería haberse realizado un aporte extra de este elemento.

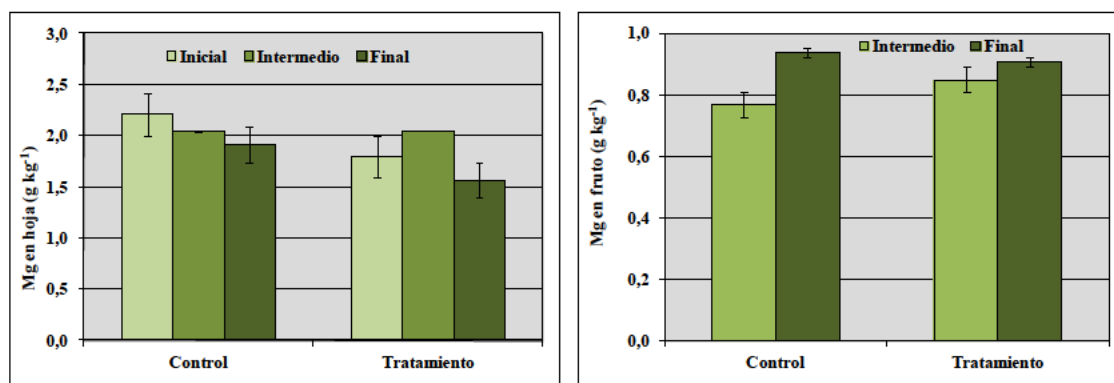


Figuras 3.102 y 3.103. Concentraciones de potasio en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

Las concentraciones de potasio en los granos se mantienen constantes y próximas a 4 g kg⁻¹ en el tratamiento control, siendo superiores en las parcelas tratadas y disminuyendo al final del cultivo.

En las Figuras 3.104 y 3.105 se muestran las concentraciones de magnesio tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre 2-5 g kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, entando en niveles ligeramente bajos en ambos tratamientos (entre 1,5-2 g kg⁻¹), indicando que la nutrición del cultivo para este elemento es algo deficitaria, debido posiblemente a una escasez de magnesio intercambiable en los suelos. Destacar que las concentraciones de Mg en hoja son ligeramente inferiores en las parcelas tratadas.

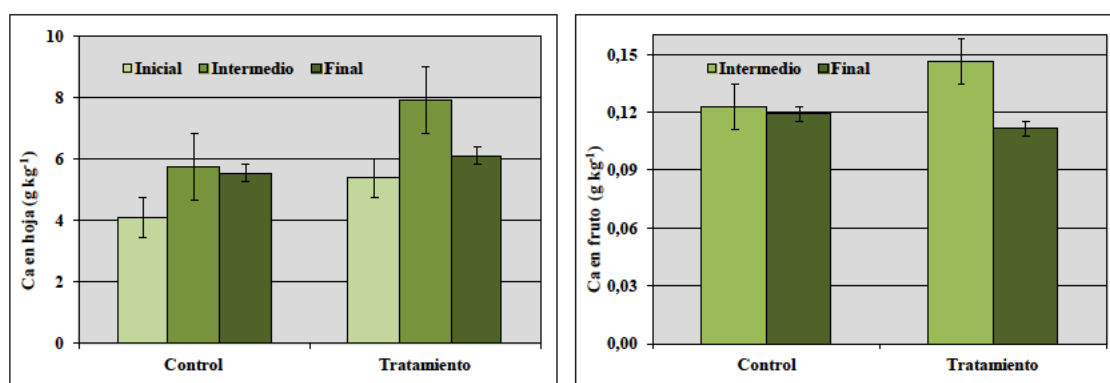
El patrón de distribución de las concentraciones de magnesio en los granos en ambos tratamientos es muy semejante, encontrándose en un rango entre 0,7-0,9 g kg⁻¹, produciéndose un incremento al final del cultivo.



Figuras 3.104 y 3.105. Concentraciones de magnesio en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

En las Figuras 3.106 y 3.107 se muestran las concentraciones de calcio tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre 3-7 g kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, entando en niveles normales en ambos tratamientos, indicando que la nutrición del cultivo para este elemento es adecuada. Destacar que el patrón de distribución es semejante en ambos tratamientos, aunque las concentraciones son superiores en las parcelas tratadas con el fitofortificante.

Como se puede ver, las concentraciones en los granos son mucho menores que en las hojas, siendo en las parcelas control constante y próximos a 0,12 g kg⁻¹, mientras que en las parcelas tratadas las concentraciones iniciales son ligeramente superiores a las finales con valores de 0,15 y 0,11 g kg⁻¹ respectivamente. Estos resultados indican que el calcio es principalmente translocado a las hojas, mientras que una pequeña concentración se acumula en los granos de las mazorcas.

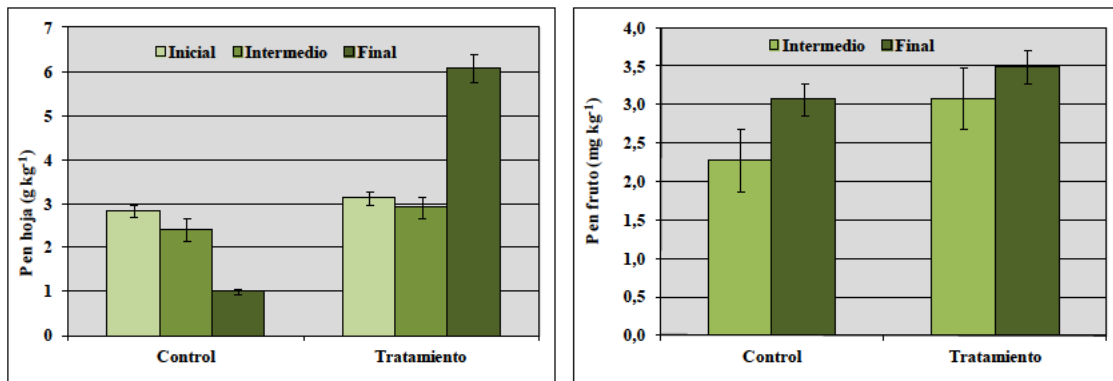


Figuras 3.106 y 3.107. Concentraciones de calcio en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

En las Figuras 3.108 y 3.109 se muestran las concentraciones de fósforo tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre 2,5-

4 g kg⁻¹. Como se puede ver, las concentraciones en hojas son semejantes a las registradas en los granos, estando en niveles normales en hojas en ambos tratamientos, a excepción del muestreo final en las parcelas control que presenta niveles deficitarios. Además, el patrón de distribución es diferente entre tratamientos, en las parcelas control se produce una disminución progresiva, mientras que en las parcelas tratadas los niveles se mantienen constantes en los dos primeros muestreos (3 g kg⁻¹) para duplicar su concentración en el muestreo final. Estos resultados indican que el fitofortificante favorece la absorción de fósforo del suelo ya que incrementa su concentración asimilable en el mismo.

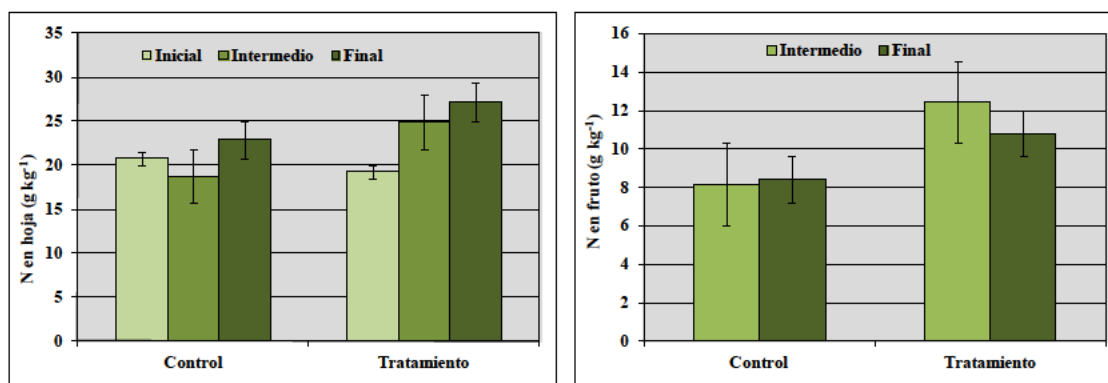
Las concentraciones de fósforo en los granos presenta el mismo patrón de distribución entre tratamientos, aumentando al final del cultivo, siendo las concentraciones ligeramente superiores en las parcelas tratadas.



Figuras 3.108 y 3.109. Concentraciones de fósforo en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

En las Figuras 3.110 y 3.110 se muestran las concentraciones de nitrógeno tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre 28-35 g kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, estando en niveles deficitarios en ambos tratamientos (entre 20-25 g kg⁻¹), indicando que la nutrición del cultivo para este elemento ha sido ligeramente escasa. Destacar que la aplicación del fitofortificante ha favorecido la absorción de este elemento por el cultivo, ya que los niveles de N se incrementan a lo largo del mismo y de una forma superior a las parcelas control.

De igual modo, las concentraciones de nitrógeno en los granos son superiores en las parcelas tratadas con el fitofortificante alcanzando valores que oscilan entre 10-12 g kg⁻¹, mientras que en las parcelas control estos niveles se encuentran próximos a 8 g kg⁻¹.



Figuras 3.110 y 3.111. Concentraciones de nitrógeno en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

Calidad de la cosecha

En lo referente a la calidad de las mazorcas recolectadas, a continuación se presentan los parámetros evaluados (peso, longitud, diámetro, número de granos por línea, número de granos total, peso de grano, porcentaje de almidón y porcentaje de proteína).

En la Figura 3.112 se presentan los pesos medios de las mazorcas recolectadas para cada uno de los tratamientos. Como se puede observar el peso medio es superior en las parcelas tratadas que en las control, alcanzando los 300 g en las parcelas tratadas, mientras que en las control se llega a los 200 g. Por lo que el fitofortificante ha incrementado en un 50% el peso de las mazorcas.

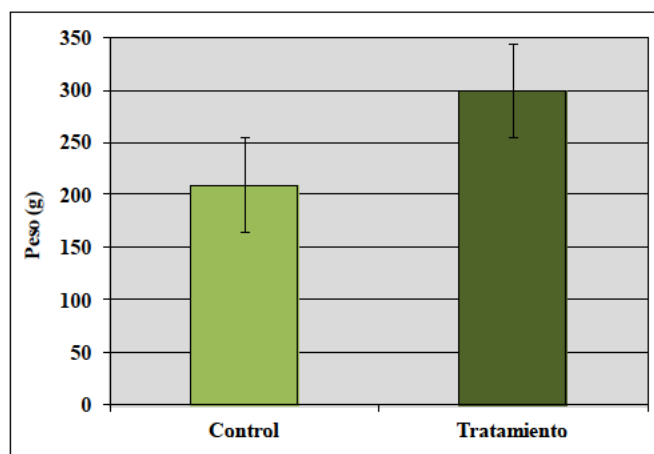
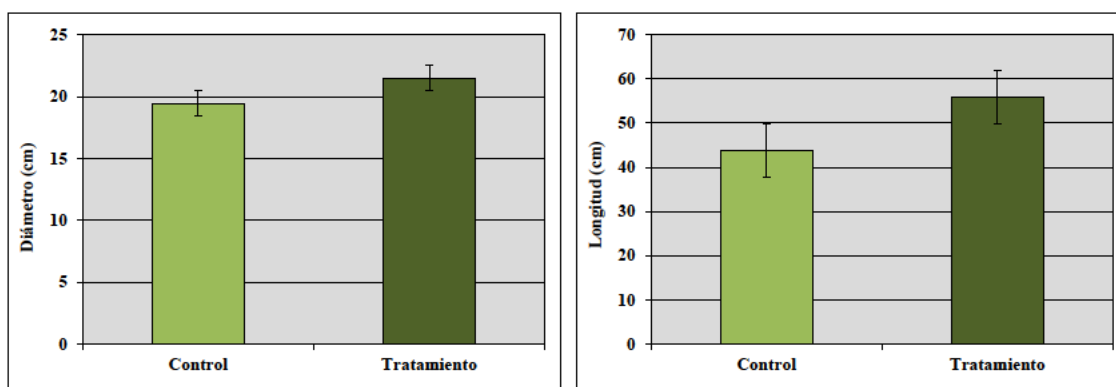


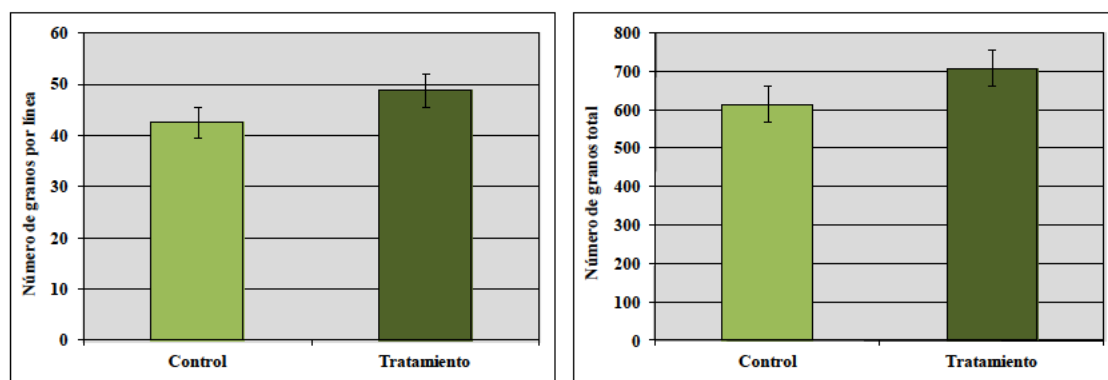
Figura 3.112. Peso de las mazorcas recolectadas en las parcelas experimentales

Referente al tamaño, determinado por la medida del diámetro y la longitud de las mazorcas, en las Figuras 3.113 y 3.114 se puede ver como las mazorcas recolectadas en las parcelas tratadas son ligeramente más gruesas (21 cm) y bastante más largas (55 cm) que en las control (19 y 43 cm respectivamente). Por lo que el fitofortificante incrementa el diámetro de las mazorcas un 10 % y su longitud en un 28%.



Figuras 3.113 y 3.114. Longitud y diámetro de las mazorcas recolectadas en las parcelas experimentales

Referente al número de granos por línea y número de granos total, en las Figuras 3.115 y 3.116 se puede ver como las mazorcas de las parcelas tratadas presentan un mayor número de granos por línea (49 granos) y en consecuencia un mayor número de granos totales (708 granos) que las mazorcas recolectadas en las parcelas control (43 y 615 granos respectivamente). Por lo que la aplicación del fitofortificante ha aumentado el número de granos en un 15%.



Figuras 3.15 y 3.16. Número de granos por línea y totales de las mazorcas recolectados en las parcelas experimentales

En la Figura 3.117 se puede ver como el peso de cada grano de las mazorcas recolectadas en las parcelas tratadas (0,38 g) con el fitofortificante es superior a las parcelas control (0,29 g), calculando el peso total de la mazorca que corresponde con los granos se tiene que en las parcelas tratadas es de 269 g mientras que en las parcelas control es de 178 g, por lo que la aplicación del fitofortificante ha aumentado en un 51% la cantidad consumible de la mazorca.

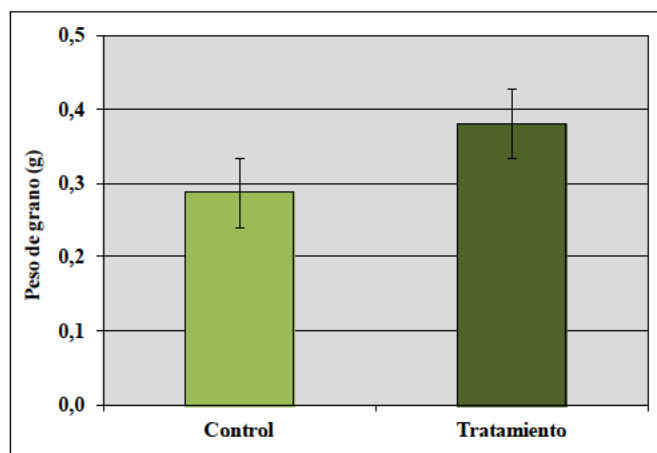


Figura 3.117. Peso del grano en las mazorcas recolectadas en las parcelas experimentales

En la Figura 3.118 se puede ver que el contenido de proteína es superior en las mazorcas que han sido recolectadas de las parcelas tratadas (6,7%) que en las control (5,3 %), lo cual se debe a la mayor concentración de nitrógeno translocado a los granos de las mismas en las parcelas tratadas con el fitofortificante.

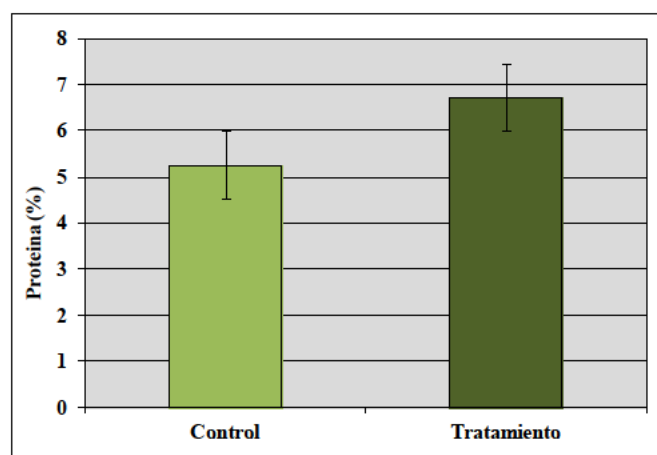
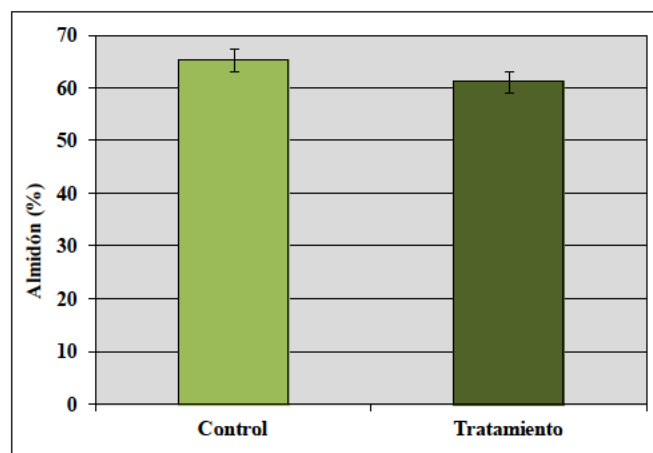


Figura 3.118. Porcentaje de proteína en los granos de las mazorcas recolectados en las parcelas experimentales

Finalmente, en la Figura 3.119 se puede ver que el porcentaje de almidón es superior en los granos de las mazorcas recolectas en las parcelas control, alcanzando valores de 65 %, mientras que en las parcelas tratadas fue del 61%.



Figuras 3.119. Porcentaje de almidón en los granos de las mazorcas recolectados en las parcelas experimentales

Cultivo de maíz en Córdoba

Propiedades físico-químicas del suelo

Acidez del suelo (pH)

En la Figura 3.120 se presentan los valores de pH tanto antes como al finalizar el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede observar el pH de estos suelos en todas las parcelas estudiadas es moderadamente alcalino con valores cercanos a 8 (Porta *et al.*, 1999), lo cual se debe al alto contenido en carbonatos como se verá posteriormente. No se observa ninguna variación significativa entre tratamientos, ni entre las muestras tomadas antes y después del cultivo.

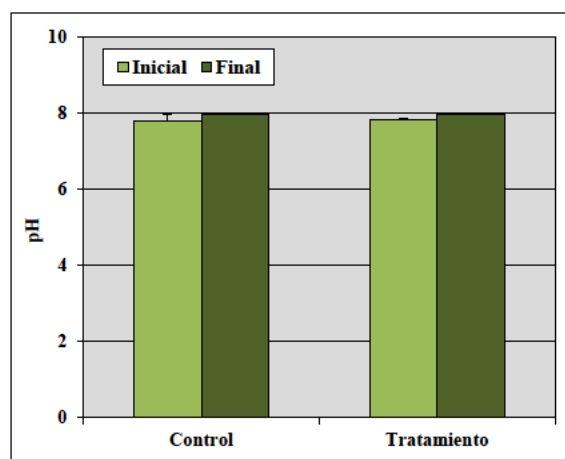


Figura 3.120. pH en las parcelas experimentales

Salinidad (conductividad eléctrica)

En la Figura 3.121 se presentan los valores de conductividad eléctrica tanto antes como al finalizar el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Antes del cultivo, la salinidad de las parcelas estudiadas varía entre $800 \mu\text{S cm}^{-1}$ en las control

y $500 \mu\text{S cm}^{-1}$ en las tratadas, por lo que la zona no tiene problemas de salinidad, no esperándose ninguna reducción en la productividad por esta causa.

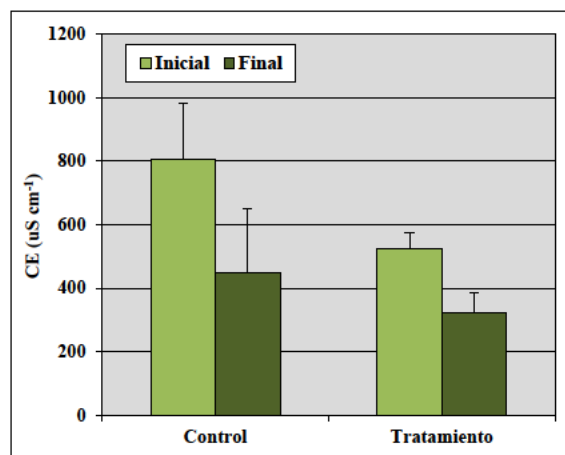


Figura 3.121. Conductividad eléctrica en las parcelas experimentales

Como se puede observar, en ambos tratamientos la salinidad disminuye a valores cercanos a $400\text{-}300 \mu\text{S cm}^{-1}$ después del cultivo, indicando que se ha producido un lavado de sales solubles debido al proceso de lixiviación tras los repetidos riegos realizados.

Aniones solubles

Como se puede apreciar en la Figura 3.122, antes del cultivo las concentraciones de nitritos y nitratos son semejantes en las parcelas control y en las parcelas tratadas, por el contrario en el caso de los sulfatos y cloruros fosfatos estos superiores en las parcelas control, siendo mayores los fosfatos en las parcelas tratadas.

Una vez transcurrido el cultivo, se produce una disminución de sulfatos, cloruros, nitratos y fosfatos en ambos tratamientos, mientras que los nitritos aumentan. La pérdida de la mayoría de los aniones, como ya ha sido comentado, puede ser debida al proceso de lixiviación durante la aplicación de agua de riego, por el contrario, la acumulación de nitritos podría ser el resultado del proceso de nitrificación de amonio, lo cual sucede con mayor intensidad en las parcelas tratadas, quizás debidos a la aplicación de las bacterias.

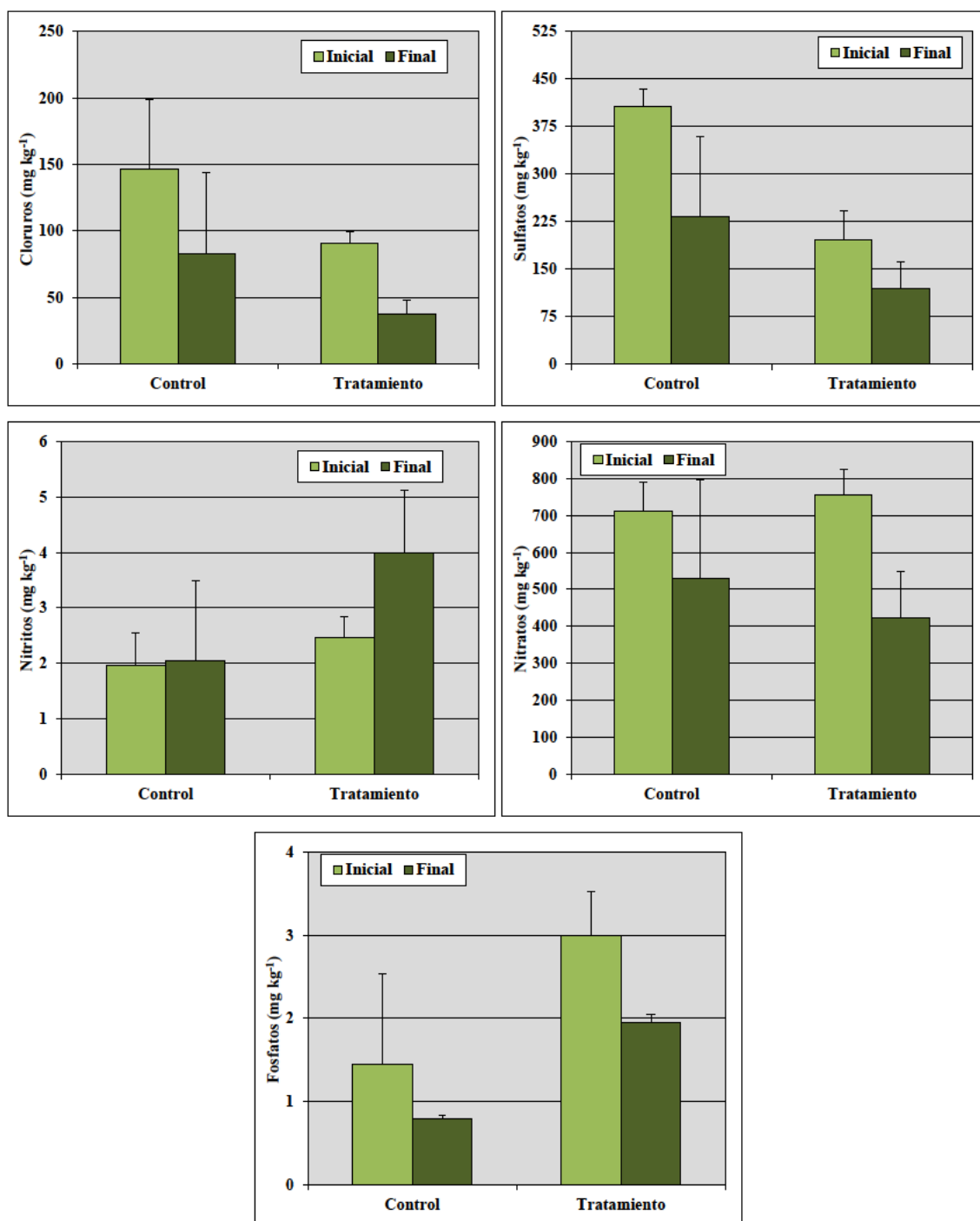


Figura 3.122. Aniones solubles en las parcelas experimentales

Cationes solubles

En el caso de los cationes solubles al inicio del ensayo, calcio, magnesio y potasio presentan valores superiores en las parcelas control, mientras que los valores de sodio en las parcelas tratadas son semejantes en ambos tratamientos (Figura 3.123). Sin embargo después del cultivo las concentraciones de calcio, magnesio y potasio disminuyeron en ambos tratamientos por el efecto de la lixiviación, mientras que el sodio se mantuvo relativamente constante, incluso se aprecia un ligero incremento en ambos tratamientos.

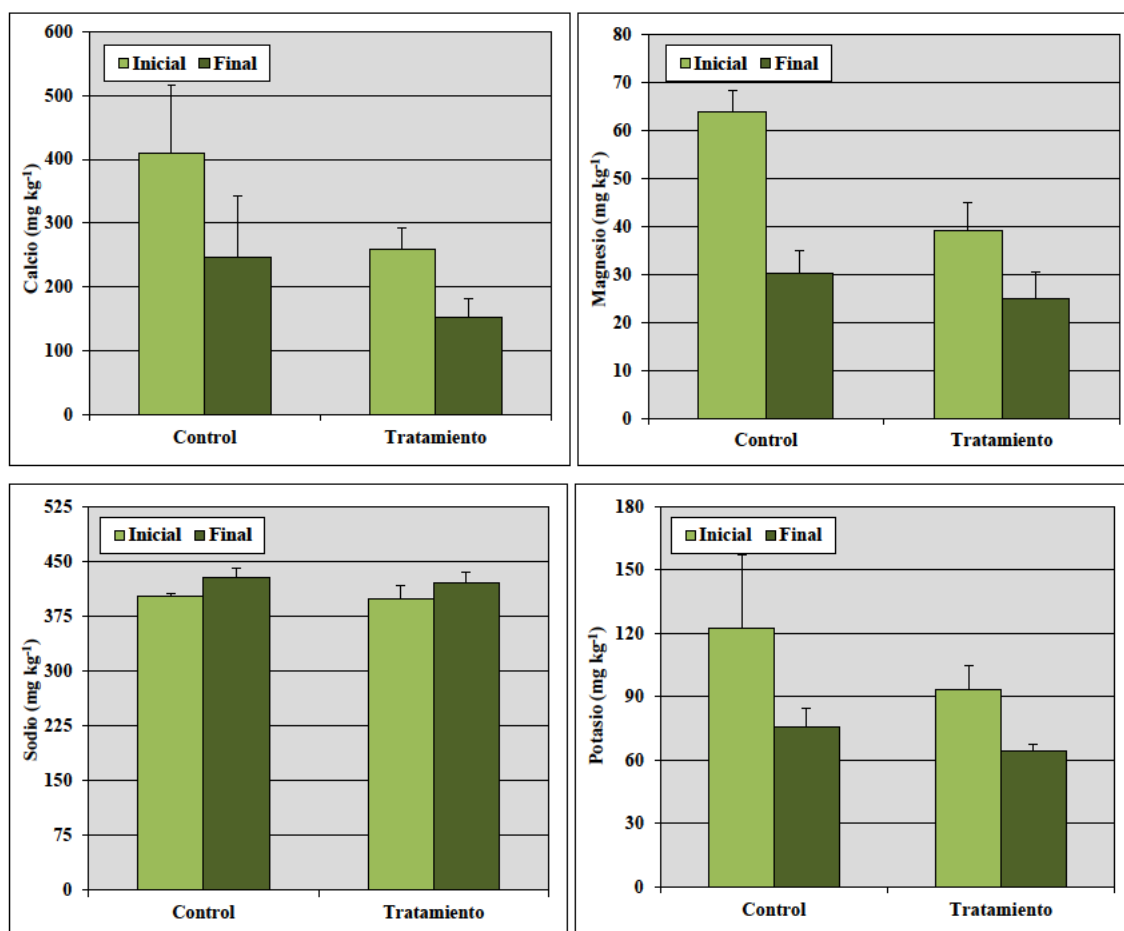


Figura 3.123. Cationes solubles en las parcelas experimentales

Carbono inorgánico (carbonatos)

En la Figura 3.124 se presentan los contenidos de carbonatos tanto antes como al finalizar el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede observar, el contenido en carbonatos es elevado en todas las parcelas (Urbano, 2001), superior al 20%, siendo superiores en las parcelas control (30-35%), mientras que en las parcelas tratadas se encuentran entre el 20-25%. La presencia de estos valores tan elevados pueden causar una deficiencia en la absorción de hierro, manganeso y fósforo por el cultivo en los suelos de estudio.

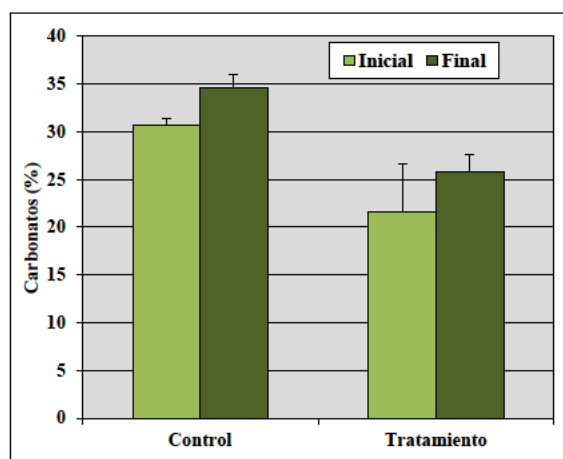


Figura 3.124. Carbonatos en las parcelas experimentales

Carbono orgánico

En la Figura 3.125 se presentan los valores de carbono orgánico tanto antes como al finalizar el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. En ambos tratamientos antes del cultivo los niveles de carbono orgánico se encuentran cercanos al 1-1,2 % lo que equivale a un nivel de materia orgánica de 1,74-2.1 %, lo que se clasifica como un nivel medio-bajo (Porta *et al.*, 1999). Transcurrido el cultivo, se produce una disminución en el contenido de M.O. debido a la mineralización de la misma, siendo más acusado en el caso de las parcelas control, lo cual podría indicar que los microorganismos estabilizan en cierta medida la materia orgánica reduciendo su mineralización.

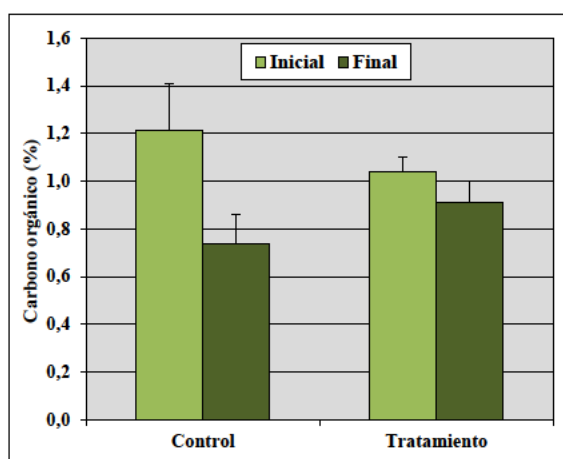


Figura 3.125. Carbono orgánico en las parcelas experimentales

Capacidad de intercambio catiónico

En la Figura 3.126 se presentan los valores de capacidad de intercambio catiónico tanto antes como al finalizar el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el

fitofortificante. Como se puede observar, la CIC de estos suelos varía entre las parcelas tratadas con 16 cmol kg^{-1} y en las control con 12 cmol kg^{-1} . En lo referente al efecto del tratamiento, no se observa ninguna variación significativa debida al efecto de la aplicación del fitofortificante, manteniéndose los valores constantes después del cultivo para ambos tratamientos.

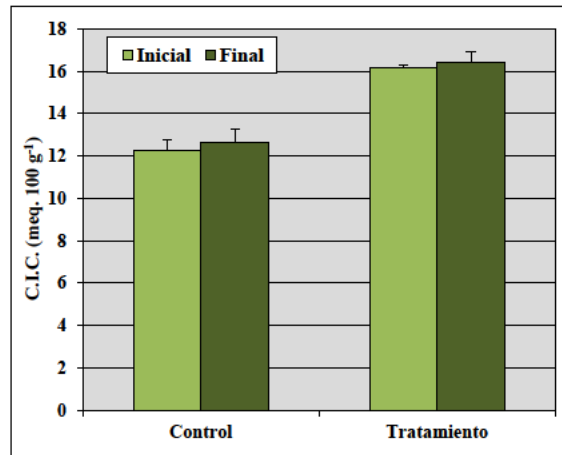
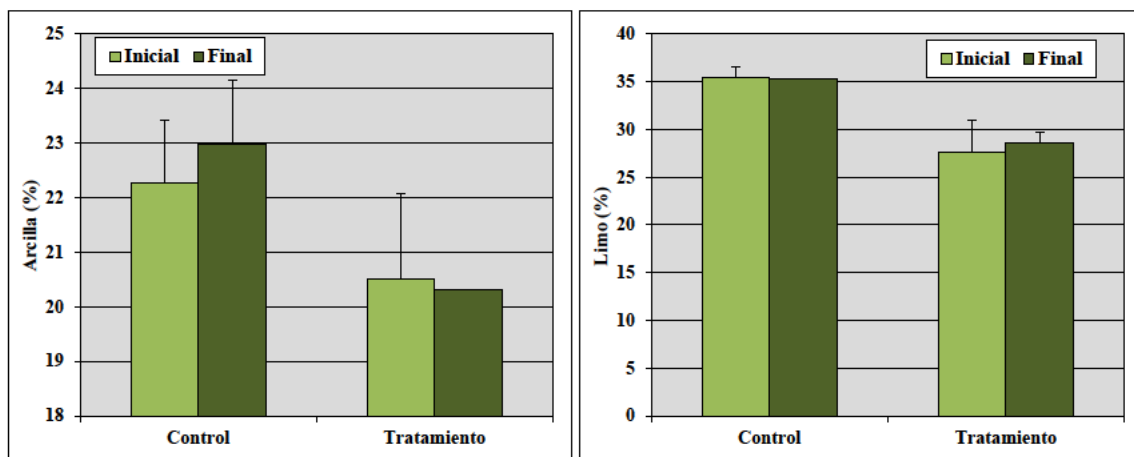


Figura 3.126. Capacidad de intercambio catiónico en las parcelas experimentales

Granulometría

En la Figura 3.127 se presentan los porcentajes de arcilla, limo y arena tanto antes como al finalizar el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede ver el suelo de las parcelas presenta porcentajes de arena entre 45-50 %, de arcilla entre 20-23% y de limo 25-35%, con porcentajes de arcilla inferiores y de arena superiores en las parcelas tratadas que en las parcelas control, por lo que los suelos se pueden catalogar como franco (FAO, 2006). No existiendo diferencias significativas entre antes y después del cultivo.



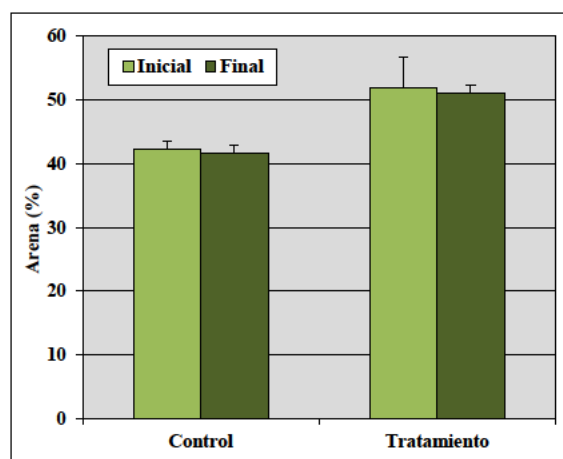


Figura 3.127. Arcilla, limo y arena en las parcelas experimentales

Relación C/N

En la Figura 3.128 se presentan los valores de la relación C/N tanto antes como al finalizar el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Antes de realizar el cultivo, los valores de la relación C/N se encuentran próximos a 14 en ambos tratamientos, lo que son catalogados como valores ligeramente altos, con una liberación de nitrógeno de normal a escasa. Trascurrido el cultivo, debido a la mineralización de la materia orgánica, la relación C/N disminuye a valores semejantes entre tratamientos de 8, indicando una mayor liberación de N y un ligero agotamiento del suelo.

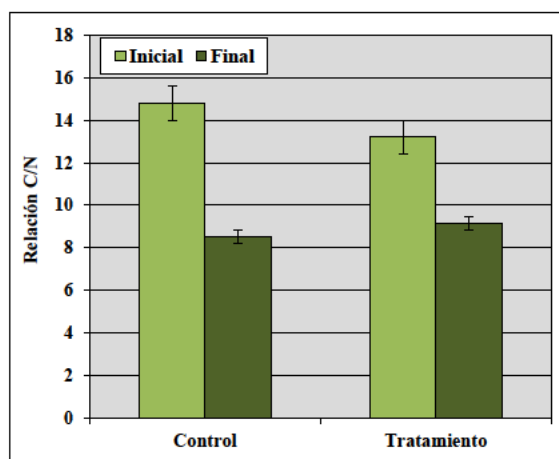


Figura 3.128. Relación C/N en las parcelas experimentales

Nitrógeno total

En la Figura 3.129 se presentan los valores de nitrógeno durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Antes de realizar el cultivo, los niveles de nitrógeno total se encuentran entorno al $0,8 \text{ g kg}^{-1}$ lo que se puede considerar un valor bajo en suelos agrícolas (Urbano, 2001).

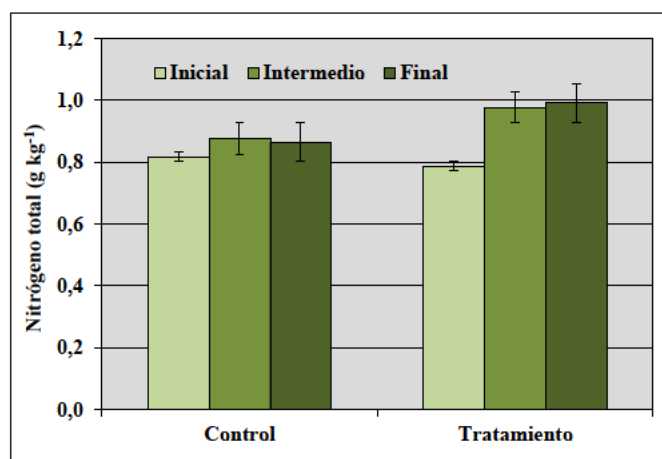


Figura 3.129. Nitrógeno total en las parcelas experimentales

Como se puede apreciar, tanto en las parcelas control como en las tratadas con el fortificante se produce un aumento en la concentración de nitrógeno, siendo más acusado en las parcelas tratadas por lo que las bacterias podrían estar favoreciendo la fijación de este nitrógeno.

Fósforo asimilable

En la Figura 3.130 se presentan los valores de fósforo asimilable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de fósforo asimilable antes del cultivo en todas las parcelas son bajos (Porta *et al.*, 1999), ~15 mg kg⁻¹, por lo que podrían surgir deficiencias nutricionales por causa de este elemento, si se produjera un consumo del mismo por parte del cultivo.

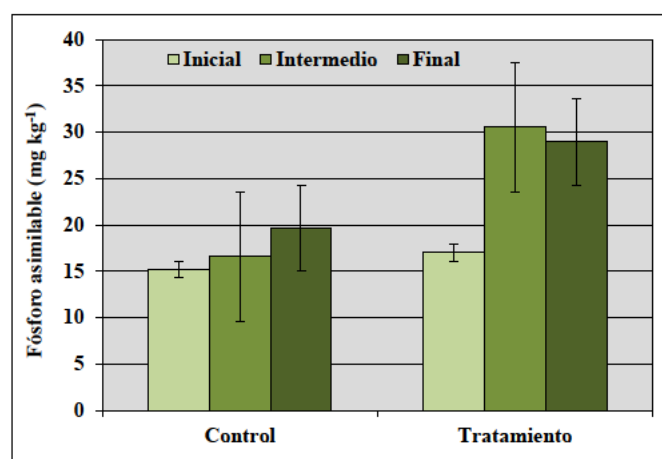


Figura 3.130. Fósforo asimilable en las parcelas experimentales

Sin embargo, como se puede apreciar, en ambos tratamientos se produce un aumento de fósforo asimilable que se observa desde el primer muestreo intermedio y se mantiene hasta el final del cultivo. No obstante, en el caso del tratamiento con el fitofortificante este aumento es significativamente superior, llegando a 30 mg kg⁻¹,

indicando que los microorganismos promueven la liberación de fósforo incrementando la fertilidad del suelo.

Oligoelementos asimilables (Cu, Fe, Zn y Mn)

Cobre asimilable

En la Figura 3.131 se presentan los valores de cobre asimilable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de cobre asimilable antes del cultivo en ambos tratamientos son adecuados (Thiagalingam, 2000), estando cercanos a 10 mg kg^{-1} , por lo que no se esperan deficiencias nutricionales por causa de este elemento.

No obstante, se produce una disminución en la concentración de este elemento en las parcelas control, alcanzando valores cercanos a 2 mg kg^{-1} . Por el contrario, en las parcelas tratadas esta disminución es menos acusada, quedando las concentraciones de Cu asimilable cercanas a 8 mg kg^{-1} . De estos resultados se puede decir que la aplicación del fitofortificante incrementa ligeramente la biodisponibilidad de este elemento en el suelo contra restando al menos parcialmente la absorción del mismo por el cultivo.

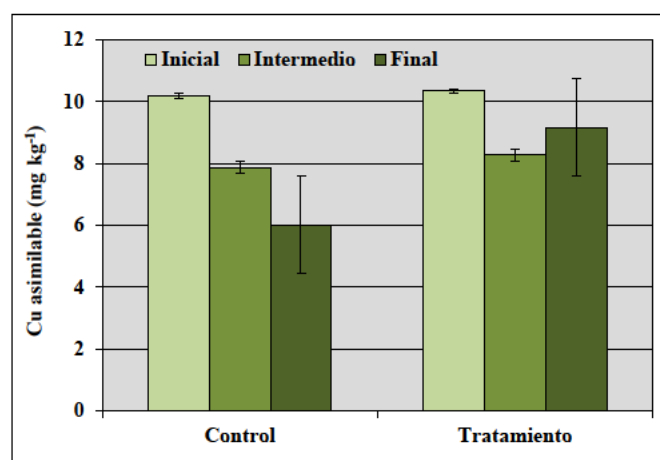


Figura 3.131. Cobre asimilable en las parcelas experimentales

Hierro asimilable

En la Figura 3.132 se presentan los valores de hierro asimilable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de hierro asimilable antes del cultivo en todas las parcelas son altos (Thiagalingam, 2000), estando en todos los casos por encima de 10 mg kg^{-1} , por lo que no se esperan deficiencias nutricionales por causa de este elemento.

Como se puede observar, el patrón de distribución es semejante en los dos tratamientos, incrementándose la concentración de hierro asimilable durante el cultivo, siendo estas concentraciones iguales entre tratamientos.

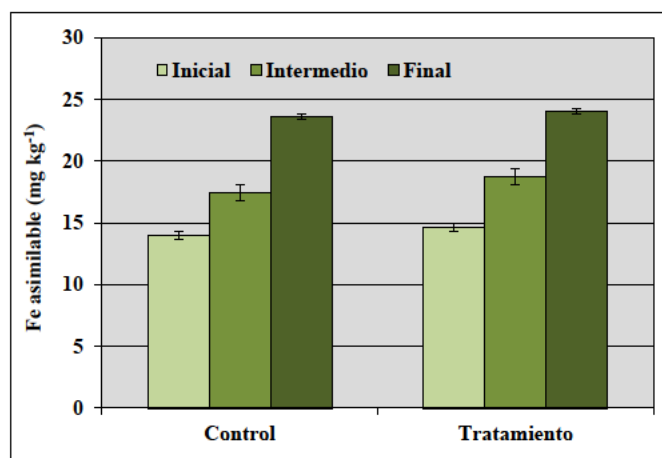


Figura 3.132. Hierro asimilable en las parcelas experimentales

Zinc asimilable

En la Figura 3.133 se presentan los valores de zinc asimilable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Las concentraciones de zinc asimilable antes de realizar el cultivo son medios (Thiagalingam, 2000), no alcanzando 1 mg kg^{-1} , por lo que podrían darse problemas de deficiencias nutricionales por este elemento durante el cultivo.

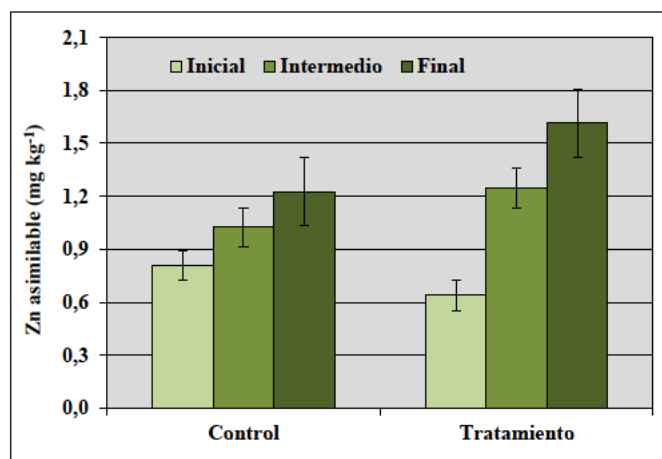


Figura 3.133. Zinc asimilable en las parcelas experimentales

Sin embargo, al igual que el hierro, el zinc asimilable tiende a incrementarse durante el cultivo en ambos tratamientos, siendo en este caso este incremento superior en las parcelas tratadas. Por lo que la aplicación del fitofortificante podría estar

favoreciendo la liberación y, por lo tanto, la biodisponibilidad de este elemento en el suelo.

Manganeso asimilable

En la Figura 3.134 se presentan los valores de manganeso asimilable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de manganeso asimilable antes del cultivo en todas las parcelas son adecuados (Thiagalingam, 2000), estando en todos los casos próximos a 10 mg kg^{-1} , por lo que no se esperan deficiencias nutricionales por causa de este elemento.

Al igual que el hierro y el zinc, el manganeso asimilable tiende a incrementarse durante el cultivo en ambos tratamientos, siendo en este caso este incremento superior en las parcelas tratadas. Por lo que la aplicación del fitofortificante podría estar favoreciendo la liberación y, por lo tanto, la biodisponibilidad de este elemento en el suelo.

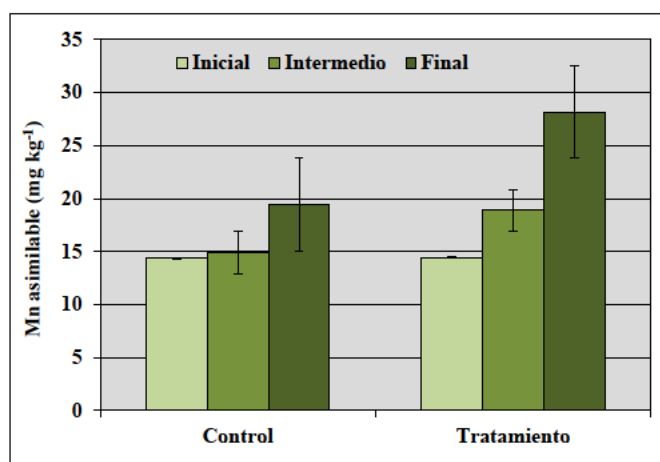


Figura 3.134. Manganeso asimilable en las parcelas experimentales

Cationes de cambio

Potasio intercambiable

En la Figura 3.135 se presentan los valores de potasio intercambiable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. En general, los contenidos de potasio en las parcelas de estudio y antes del cultivo son medios (Horneck, 2011), con valores cercanos a $0,6 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$.

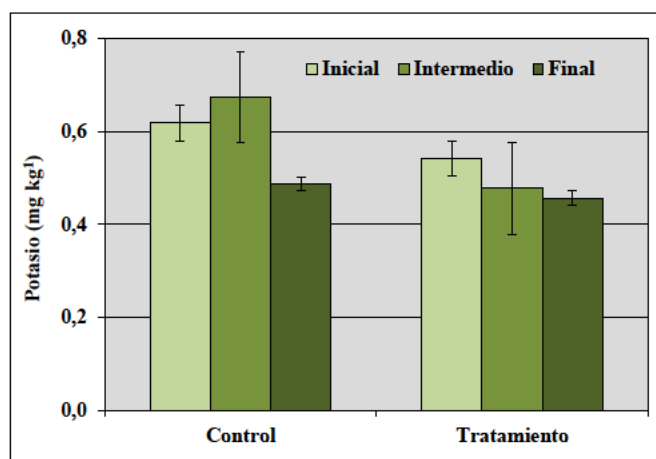


Figura 3.135. Potasio intercambiable en las parcelas experimentales

Como se puede observar en la figura anterior el potasio intercambiable sigue un patrón semejante entre el tratamiento control y la aplicación del fitofortificante, donde se aprecia una ligera disminución en la concentración intercambiable de potasio durante el cultivo, lo que podría ocasionar una deficiencia en este elemento, siendo las concentraciones en las parcelas tratadas menores que en el control.

Magnesio intercambiable

En la Figura 3.136 se presentan los valores de magnesio intercambiable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. En general los contenidos de magnesio en las parcelas de estudio y antes del cultivo son bajos (Horneck, 2011), con valores cercanos a 0,5 meq 100g⁻¹ en las parcelas control y de 0,4 meq 100g⁻¹ en las tratadas, por lo que podrían darse carencias nutricionales por este elemento a lo largo del cultivo.

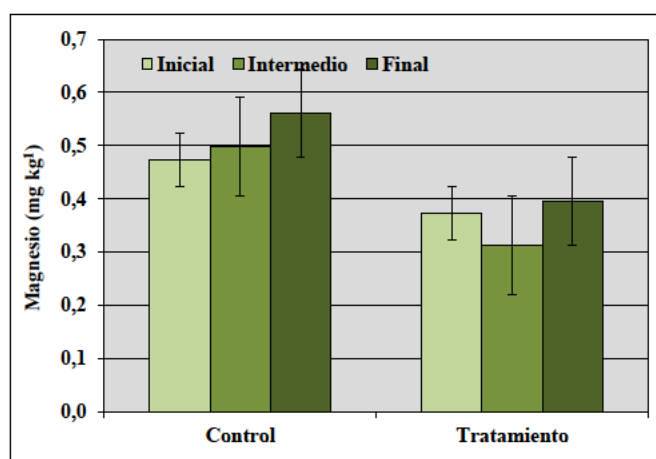


Figura 3.136. Magnesio intercambiable en las parcelas experimentales

Como se puede ver en la figura anterior, se aprecia un ligero aumento en la concentración intercambiable de magnesio en el tratamiento control. Por el contrario, en las parcelas tratadas con el fitofortificante las concentraciones a lo largo del cultivo se mantienen más constantes.

Calcio intercambiable

En la Figura 3.137 se presentan los valores de calcio intercambiable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los contenidos iniciales de calcio intercambiable en todas las parcelas de estudio son altos (Thiagalingam, 2000), estando en las parcelas control cercanos a 11 meq 100g⁻¹, y en las parcelas tratadas cercanos a 15 meq 100g⁻¹, lo que era de esperar por el alto contenido en carbonatos de estos suelos. Al contrario que en los casos anteriores los valores de calcio en ambos tratamientos son muy homogéneos no observándose diferencias por la aplicación del fitofortificante.

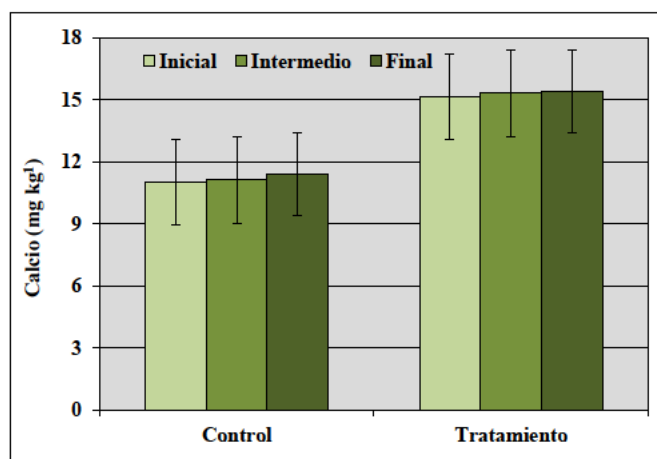


Figura 3.137. Calcio intercambiable en las parcelas experimentales

Sodio intercambiable

En la Figura 3.138 se presentan los valores de sodio intercambiable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede observar en la figura anterior, los contenidos de sodio intercambiable son bajos en ambos tratamientos (Thiagalingam, 2000), aumentando progresivamente a lo largo del cultivo de forma semejante.

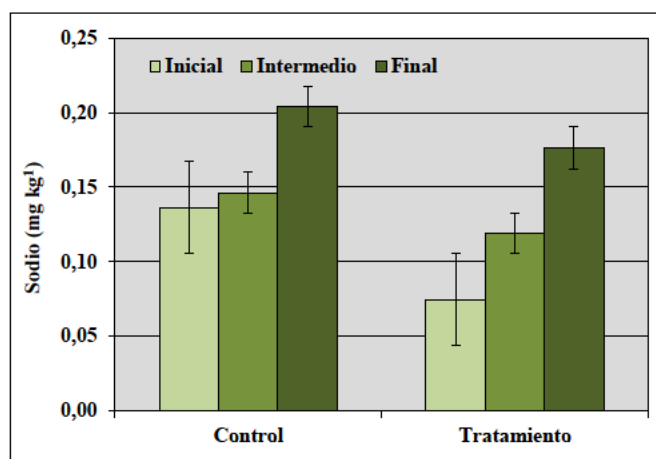


Figura 3.138. Sodio intercambiable en las parcelas experimentales

Relaciones entre cationes de cambio

Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

En la Figura 3.139 se presentan los valores de porcentaje de sodio intercambiable durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Al inicio del ensayo, en todas las parcelas el PSI se encuentra próximo a 1, por lo que no se espera tener problemas de estabilidad estructural. Aunque se observa un incremento en ambos tratamientos, los valores de PSI siguen siendo tan bajos que no existe riesgo que se produzca inestabilidad estructural en estos suelos.

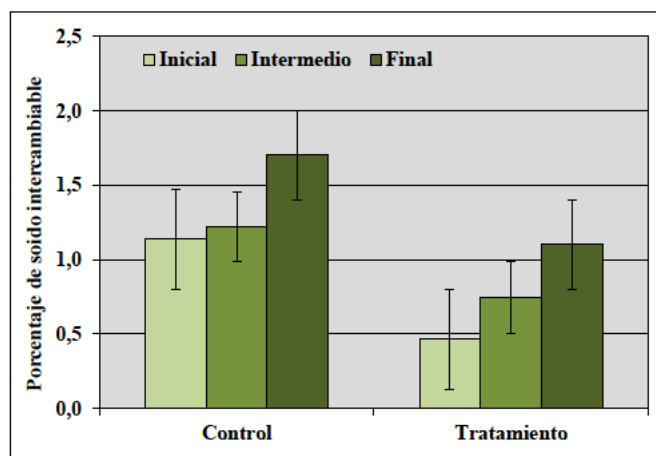


Figura 3.139. Porcentaje de sodio intercambiable en las parcelas experimentales

Relación Ca/Mg

En la Figura 3.140 se presentan los valores de la relación Ca/Mg durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar los valores de la relación Ca/Mg al inicio del cultivo se encuentran entre 20 (tratamiento control) y 40 (aplicación del fitofortificante), por lo que es posible que se produzca

deficiencia de magnesio para el cultivo. Estos valores se mantienen relativamente constantes durante el cultivo en ambos tratamientos, por lo que no se aprecia ningún efecto del fitofortificante.

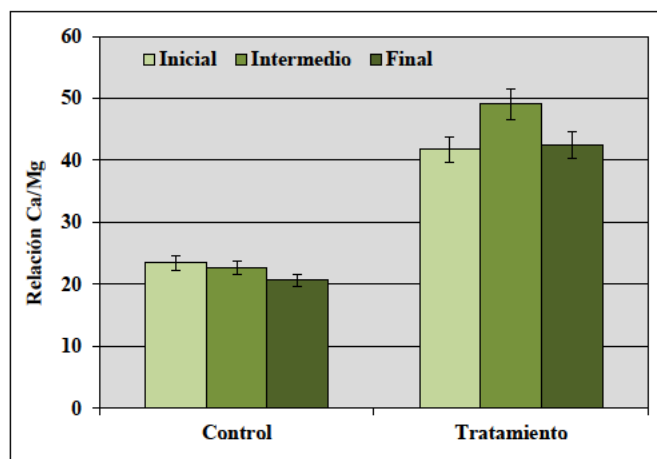


Figura 3.140. Relación Ca/Mg en las parcelas experimentales

Relación K/Mg

En la Figura 3.141 se presentan los valores de la relación K/Mg durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar los valores de K/Mg durante todo el cultivo son altos en ambos tratamientos, estando todos ellos por encima de 0,5; lo que indica que podría haberse producido una deficiencia de magnesio durante el cultivo. Destacar que ambos tratamientos siguen el mismo patrón de distribución, presentando de igual modo valores semejantes, no observando diferencias entre tratamientos.

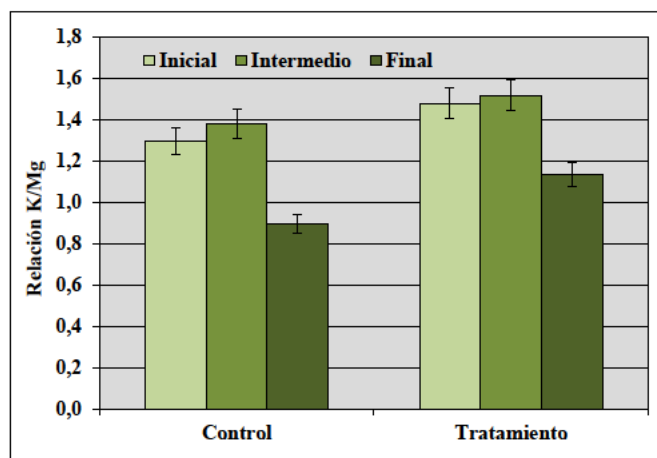


Figura 3.141. Relación K/Mg en las parcelas experimentales

Propiedades microbiológicas/bioquímicas del suelo

Carbono de la biomasa microbiana

En la Figura 3.142 se presentan los valores de CBM durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de CBM antes del cultivo son muy bajos, inferiores a 30 mg C kg⁻¹, indicando un bajo contenido de microorganismos en dichas parcelas antes de proceder al cultivo, aumentando una vez se ha establecido el cultivo para disminuir al final del mismo, siendo en las parcelas tratadas con el fitofortificante donde este incremento es más significativo.

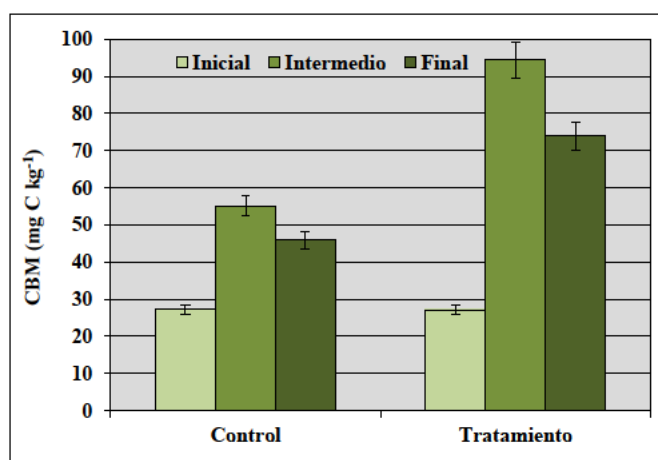


Figura 3.142. Carbono de la biomasa microbiana en las parcelas experimentales

Respiración

En la Figura 3.143 se presentan los valores de respiración basal durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de respiración antes del cultivo son en general bajos, con valores próximos a 1 mg C-CO₂ kg h⁻¹, indicando una baja actividad microbiana en dichas parcelas antes de proceder al cultivo. Sin embargo, una vez se ha implantado el cultivo en ambos tratamientos se produce un incremento progresivo en la actividad microbiana, siendo más acusado en el caso de las parcelas tratadas con el fitofortificante, llegando a 2,7 mg C-CO₂ kg h⁻¹.

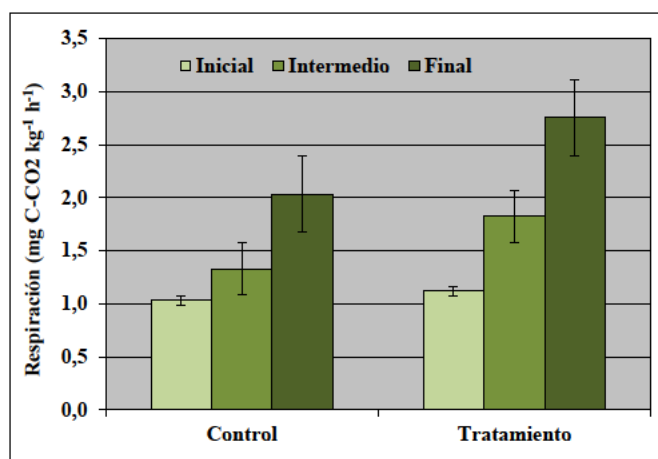


Figura 3.143. Respiración en las parcelas experimentales

Actividad fosfatasa

En la Figura 3.144 se presentan los valores de actividad fosfatasa durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de actividad fosfatasa antes del cultivo en las parcelas de estudio de ambos tratamientos son en general bajos, en ambos tratamientos cercanos al $0,6 \mu\text{mol P-nitrofenol g}^{-1}\text{h}^{-1}$, indicando una baja actividad fosfatasa en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

Por el contrario, se produce un aumento en dicha actividad una vez implantado el cultivo en ambos tratamientos, siendo ligeramente superior en las parcelas tratadas, debido al incremento de los microorganismos aplicado con el fitofortificante, favoreciendo la liberación de fósforo asimilable para el cultivo. Posteriormente, se produce una disminución de la actividad fosfatasa en las parcelas control, mientras que en las tratadas sigue aumentando ligeramente dicha actividad, por lo que los microorganismos siguen actuando una vez terminado el cultivo.

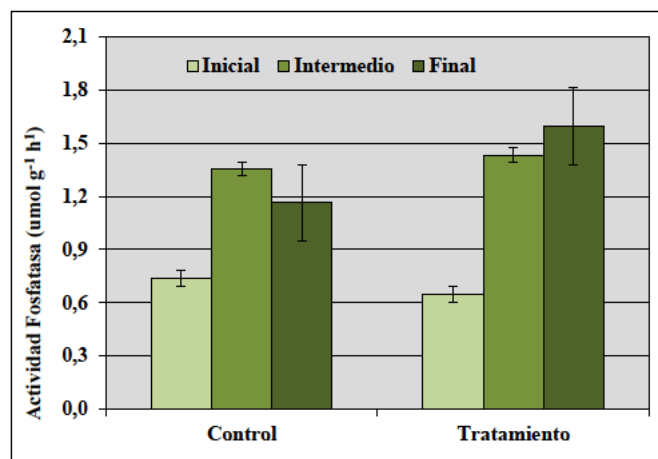


Figura 3.144. Actividad fosfatasa en las parcelas experimentales

Actividad ureasa

En la Figura 3.145 se presentan los valores de actividad ureasa durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de actividad ureasa antes del cultivo en las parcelas estudiadas son muy bajos, todos ellos cercanos a $0,2 \mu\text{mol NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, indicando una baja actividad ureasa en dichas parcelas antes de proceder al cultivo, que se mantiene hasta el muestreo final, donde se aprecia un incremento significativo de esta actividad, siendo notablemente mayor en las parcelas tratadas con el fitofortificante.

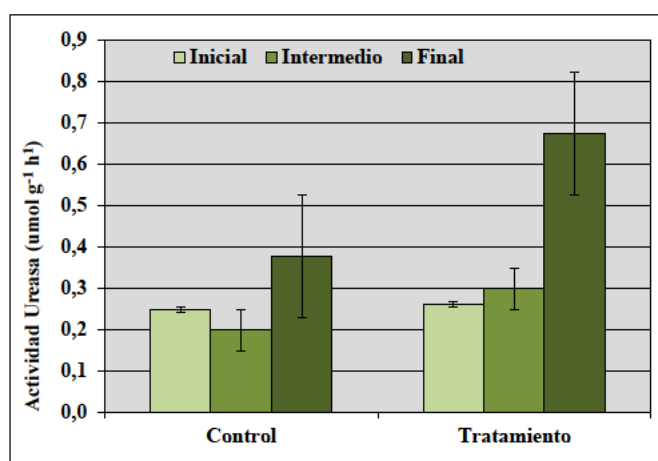


Figura 3.145. Actividad ureasa en las parcelas experimentales

Actividad β -glucosidasa

En la Figura 3.146 se presentan los valores de actividad β -glucosidasa durante el cultivo de maíz en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de actividad β -glucosidasa antes del cultivo están en torno a $0,35 \mu\text{mol P-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, indicando una baja actividad β -glucosidasa en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

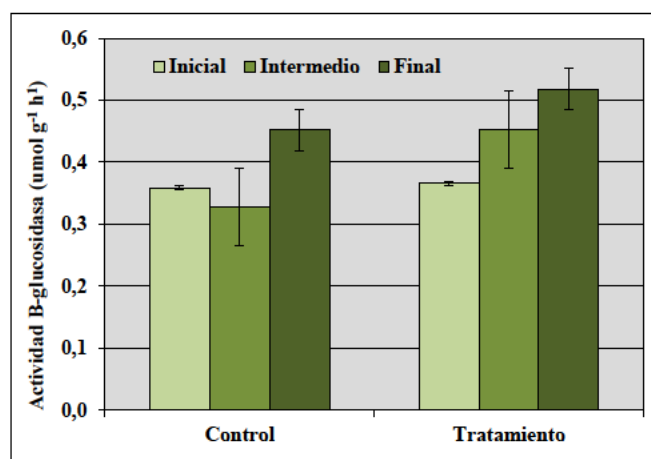


Figura 3.146. Actividad β -glucosidasa en las parcelas experimentales

Como se aprecia en la figura anterior, se produce una ligera disminución en dicha actividad en las parcelas control para incrementarse al final del cultivo hasta valores de $0,45 \mu\text{mol P-nitrofenol g}^{-1}\text{h}^{-1}$. De igual modo, en las parcelas tratadas se produce este incremento de actividad pero en mayor proporción y observado en el muestreo intermedio, con su máximo en el final ($0,5 \mu\text{mol P-nitrofenol g}^{-1}\text{h}^{-1}$).

Balance nutricional

A continuación se presentan las concentraciones de nutrientes en el cultivo de maíz, tanto en hojas como en el grano de las mazorcas, para el periodo intermedio (22 de julio de 2014).

Micronutrientes

En las Figura 3.147 se muestran las concentraciones de manganeso tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre $30-100 \text{ mg kg}^{-1}$. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, entando en niveles normales en ambos tratamientos, aunque se observan mayores acumulaciones en las parcelas tratadas. En los granos, en ambos tratamientos, las concentraciones de manganeso se encuentran en un valor de 11 mg kg^{-1} .

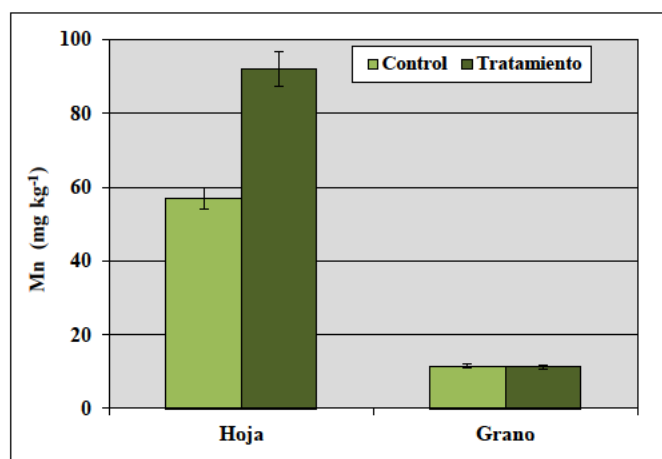


Figura 3.147. Concentraciones de manganeso en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

En la Figura 3.148 se muestra las concentraciones de hierro tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre $50-250 \text{ mg kg}^{-1}$. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, entando en niveles normales y semejantes en ambos tratamientos, con valores de 130 mg kg^{-1} ,

indicando que no se ha producido bloqueo de hierro debido tanto al alto porcentaje de carbonatos como al alto valor de pH de estos suelos. En los granos, las concentraciones de hierro en las parcelas tratadas alcanzan una concentración de 30 mg kg^{-1} , siendo semejantes en ambos tratamientos.

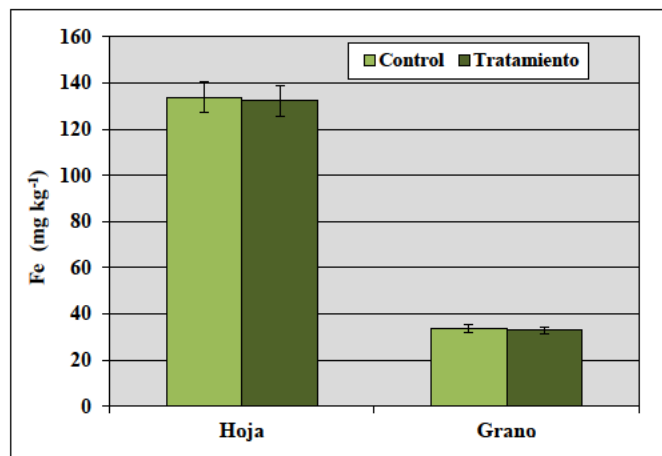
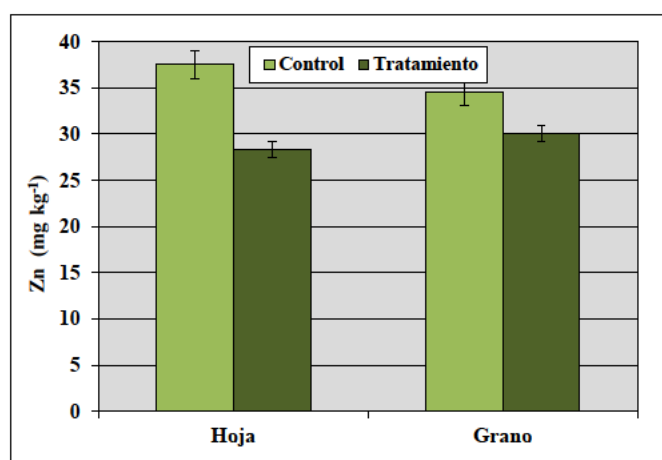


Figura 3.148. Concentraciones de hierro en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

En la Figura 3.149 se muestran las concentraciones de zinc tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre $25\text{-}50 \text{ mg kg}^{-1}$. Como se puede ver, las concentraciones en hojas son semejantes a las registradas en los granos, estando en niveles normales en hojas en ambos tratamientos y siendo inferiores en las parcelas tratadas, lo que indica que se produce una menor absorción de este elemento posiblemente debido a la aplicación del fitofortificante. Las concentraciones de zinc en los granos siguen el mismo patrón que en hojas.



Figuras 3.149. Concentraciones de zinc en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

En la Figura 3.150 se muestran las concentraciones de cobre tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre 6-20 mg kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, estando en niveles normales y semejantes en ambos tratamientos, con valores de 7 mg kg⁻¹. En los granos, las concentraciones de cobre en las parcelas tratadas alcanzan una concentración de 2 mg kg⁻¹, siendo ligeramente inferiores a las de las parcelas control (3 mg kg⁻¹).

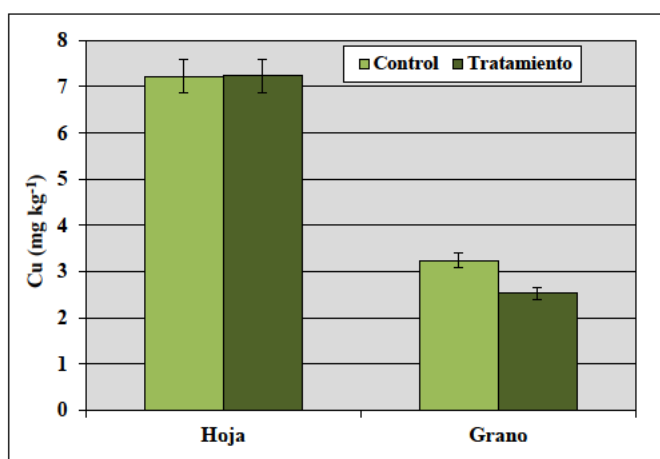


Figura 3.150. Concentraciones de cobre en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

Macronutrientes

En la Figura 3.151 se muestran las concentraciones de sodio tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre 0,1-0,3 g kg⁻¹. Como se puede ver, las concentraciones en hojas son ligeramente superiores a las registradas en los granos, estando en niveles ligeramente altos en el tratamiento control, y normales en el tratamiento con el fitofortificante, por lo que éste produce una menor absorción de este elemento por el cultivo.

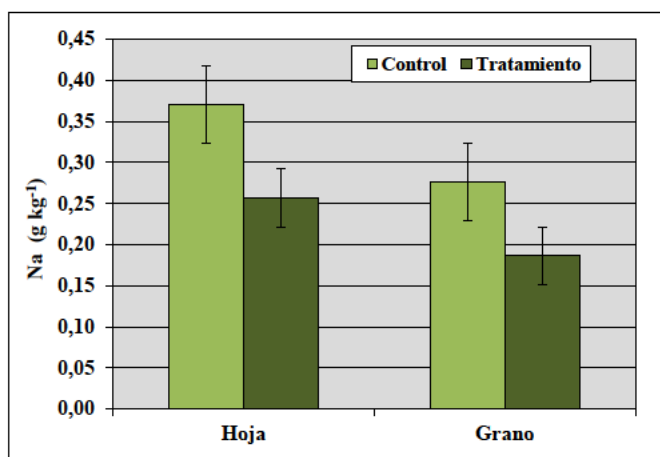


Figura 3.151. Concentraciones de sodio en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

Las concentraciones de sodio en los granos siguen el mismo patrón de distribución que las hojas, donde las parcelas tratadas presentan menores concentraciones $0,18 \text{ g kg}^{-1}$ que las control $0,27 \text{ g kg}^{-1}$.

En la Figura 3.152 se muestran las concentraciones de potasio tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre $18\text{-}30 \text{ g kg}^{-1}$. Como se puede ver, las concentraciones en hojas son superiores a las registradas en los granos, estando en niveles ligeramente deficitarios en las parcelas tratadas, mientras que las parcelas control presentan valores normales. Esto puede ser debido a la menor concentración de este elemento presente en los suelos tratados. Además, el patrón de distribución en ambos órganos es semejante, apoyando la hipótesis anterior.

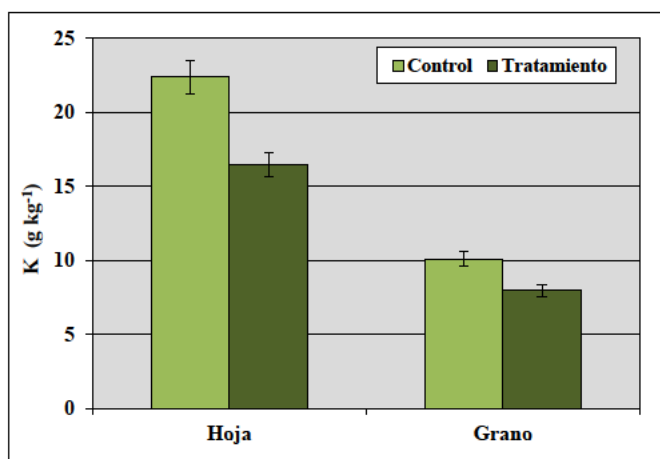


Figura 3.152. Concentraciones de potasio en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

En la Figura 3.153 se muestran las concentraciones de magnesio tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre $2\text{-}5 \text{ g kg}^{-1}$. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, estando en niveles ligeramente deficitarios en ambos tratamientos (entre $2\text{-}1,3 \text{ g kg}^{-1}$), indicando que la nutrición del cultivo para este elemento es algo deficitaria, debido posiblemente a una escasez de magnesio intercambiable en los suelos. Destacar que las concentraciones de Mg en hoja son ligeramente inferiores en las parcelas tratadas. Por el contrario, las concentraciones de magnesio en los granos es semejantes entre tratamientos.

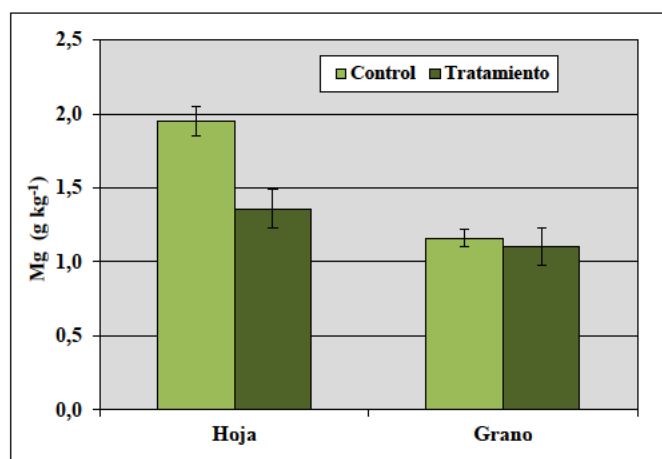


Figura 3.153. Concentraciones de magnesio en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

En la Figura 3.154 se muestran las concentraciones de calcio tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre 3-7 g kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, entando en niveles ligeramente altos en ambos tratamientos, indicando que la nutrición del cultivo para este elemento es adecuada. Destacar que en este caso las concentraciones son superiores en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Por su parte, las concentraciones en los granos son mucho menores que en las hojas, siendo semejantes en ambos tratamientos. Estos resultados indican que el calcio es principalmente translocado a las hojas, mientras que una pequeña concentración se acumula en los granos de las mazorcas.

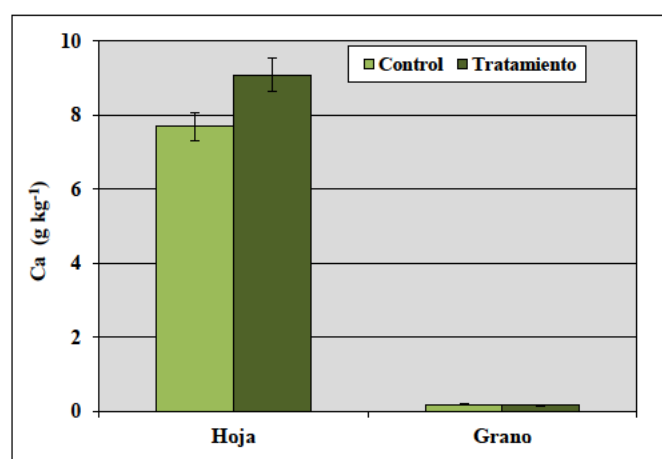


Figura 3.154. Concentraciones de calcio en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

En la Figura 3.155 se muestran las concentraciones de fósforo tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre 2,5-4 g kg⁻¹. Como se puede ver, las concentraciones en hojas son ligeramente inferiores a las

registradas en los granos, estando en niveles normales en hojas en ambos tratamientos, con valores ligeramente superiores en las parcelas tratadas. Estos resultados indican que el fitofortificante favorece, aunque de forma muy limitada, la absorción de fósforo del suelo ya que incrementa su concentración asimilable en el mismo. Por su parte, las concentraciones de fósforo en los granos presentan las mismas concentraciones en ambos tratamientos.

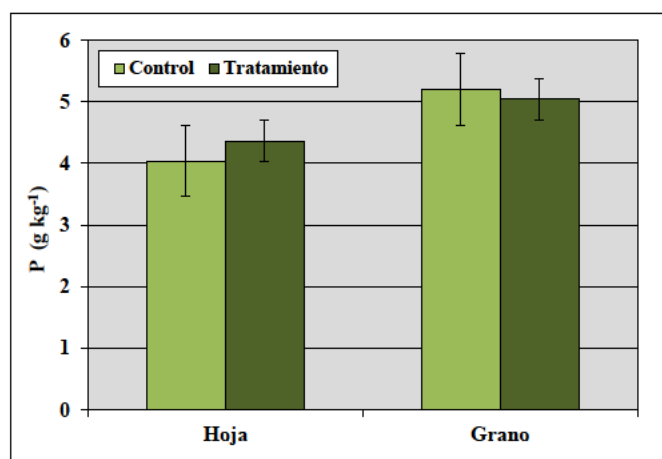


Figura 3.155. Concentraciones de fósforo en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

En la Figura 3.156 se muestran las concentraciones de nitrógeno tanto en hojas como en los granos de las mazorcas, cuyo rango normal en hojas oscila entre 28-35 g kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, entando en niveles ligeramente deficitarios en ambos tratamientos (entre 22-27 g kg⁻¹), indicando que la nutrición del cultivo para este elemento ha sido algo escasa. Destacar que la aplicación del fitofortificante ha favorecido la absorción de este elemento por el cultivo, ya que los niveles de N son superiores a las parcelas control. De igual modo, las concentraciones de nitrógeno en los granos son ligeramente superiores en las parcelas tratadas con el fitofortificante.

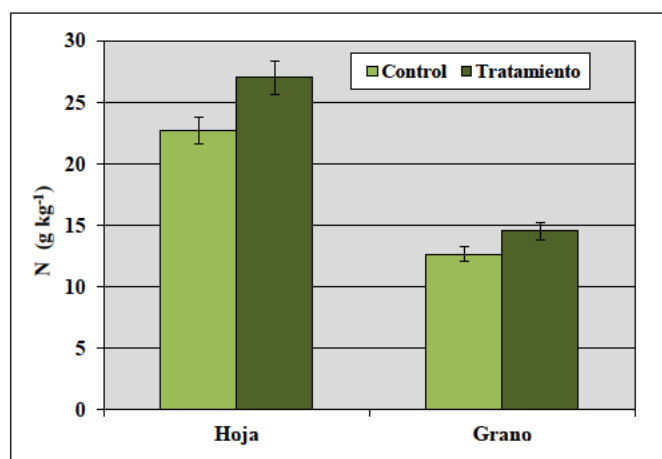


Figura 3.156. Concentraciones de nitrógeno en el cultivo (hoja y grano) de las parcelas experimentales

3.4. Conclusiones

Cultivo de melón

- Los **pH** de estos suelos en todas las parcelas estudiadas es moderadamente alcalino debido al alto contenido en **carbonatos**. No observándose ninguna variación significativa entre tratamientos, ni entre las muestras tomadas antes y después del cultivo.
- Antes del cultivo, la **salinidad** de las parcelas estudiadas es baja, sin embargo en las parcelas tratadas con el fitofortificante la salinidad aumenta significativamente debido a un incremento de **sulfatos, cloruros, nitratos, calcio, magnesio y sodio**. Por el contrario, en las parcelas control la salinidad disminuye debido al proceso de lixiviación.
- El **potasio soluble** disminuyó en las parcelas tratadas, indicando que posiblemente el fitofortificante favorezca la movilidad de este elemento en el suelo.
- En todas las parcelas, tanto antes del cultivo como después del mismo, los niveles de **materia orgánica** son medios-bajos. En las parcelas tratadas con el fitofortificante se produce una ligera disminución debido a la mineralización de la materia orgánica, posiblemente producida por la acción de las bacterias aportadas.
- La **CIC** de estos suelos presenta un valor normal para suelos agrícolas. No observándose ninguna variación significativa debida al efecto de la aplicación del fitofortificante.

- Los suelos de las parcelas de estudio tienen una **textura** franco arcillosa, con porcentajes de limo ligeramente inferiores y de arena ligeramente superiores en las parcelas tratadas que en las parcelas control. No existiendo diferencias entre antes y después del cultivo.
- Los valores iniciales de **C/N** son ligeramente altos, disminuyendo debido posiblemente a la aplicación de fertilización nitrogenada en ambos tratamientos, no observándose diferencias significativas con la aplicación del fitofortificante.
- Los niveles iniciales de **nitrógeno total** son ligeramente bajos, incrementándose tanto en las parcelas control como en las tratadas posiblemente debido al abonado. Sin embargo, este incremento es mayor en las parcelas tratadas, indicando que el fitofortificante reduce las pérdidas de nitrógeno, manteniendo durante más tiempo este elemento en el suelo. Pasado el 1º corte se produce un consumo de nitrógeno por parte del cultivo que ocasiona una disminución del mismo en el suelo, llegando a niveles muy semejantes en ambos tratamientos.
- Los valores de **fósforo asimilable** antes del cultivo en todas las parcelas son altos, produciéndose un aumento en el mismo desde el 1º corte hasta el final del cultivo, siendo este aumento significativamente superior en las parcelas tratadas, indicando que los microorganismos promueven la liberación de fósforo incrementando la fertilidad del suelo.
- Los valores de **cobre y hierro asimilables** antes del cultivo en todas las parcelas son adecuados, produciéndose un aumento en el mismo desde el 1º corte hasta el final del cultivo, siendo este aumento significativamente superior en las parcelas tratadas, indicando que los microorganismos promueven la liberación de cobre y hierro asimilables incrementando la fertilidad del suelo.
- Las concentraciones de **zinc asimilable** antes de realizar el cultivo son elevados, incrementándose durante el mismo, no existiendo diferencias significativas entre tratamientos.
- Los valores de **manganeso asimilable** antes del cultivo en todas las parcelas son adecuados, produciéndose un aumento en la concentración de este elemento que se observa en el 1º corte y se mantiene hasta el final del cultivo. Sin embargo, en las parcelas control las concentraciones de hierro son ligeramente superiores a las parcelas tratadas, indicando que la aplicación del fitofortificante reduce la biodisponibilidad de este elemento en el suelo.

- Los contenidos de **potasio y magnesio intercambiables** antes del cultivo son adecuados y bajos respectivamente, produciéndose un aumento en sus concentraciones al comienzo del cultivo en el tratamiento control seguido de una importante reducción en los tres periodos de recolección. Por el contrario, en las parcelas tratadas con el fitofortificante estas concentraciones a lo largo del cultivo se mantienen más homogéneas, observándose una reducción progresiva durante los periodos de recolección.
- Los contenidos de **calcio intercambiable** en todas las parcelas de estudio son elevados, no existiendo diferencias significativas entre tratamientos.
- Los contenidos de **sodio intercambiable** y los valores de **PSI** aumentan al mes de la aplicación, sobre todo en las parcelas no tratadas con el fitofortificante, para disminuir durante el cultivo, indicando que posiblemente se haya producido un desplazamiento de este elemento en el complejo de cambio seguido de un lavado del mismo durante los riegos mejorando, de este modo, la estructura del suelo.
- Los valores de **Ca/Mg** indican una posible deficiencia de Mg, aumentando en las parcelas control desde el 1º mes. Por su parte, en las parcelas tratadas con el fitofortificante este aumento se observa únicamente en el 3º corte, por lo que la carencia en este elemento es menos acusada que en las parcelas control.
- Los valores de **K/Mg** durante todo el cultivo son altos, lo que indica nuevamente una posible deficiencia de magnesio durante el cultivo. No existiendo diferencias significativas entre tratamientos
- Los valores de **CBM** antes del cultivo son en general bajos, sin embargo una vez aplicado el fitofortificante se produce un aumento de los microorganismos, aspecto que no ocurre en la parcela control, cuyo contenido decrece ligeramente.
- Los valores de **respiración** antes del cultivo son en general bajos, sin embargo una vez se ha implantado el cultivo en ambos tratamientos se produce un incremento en la actividad microbiana hasta el 1º corte, siendo más acusado en el caso de las parcelas tratadas con el fitofortificante, para disminuir bruscamente en el 2º corte, permaneciendo constante hasta el 3º corte con valores semejantes en ambos tratamientos.
- Los valores de **actividad fosfatasa y β -glucosidasa** antes del cultivo son bajos, sin embargo una vez se ha implantado el cultivo en ambos tratamientos se produce un incremento en esta actividad, siendo más acusado en el caso de las

parcelas tratadas con el fitofortificante, para disminuir progresivamente hasta alcanzar valores semejantes en ambos tratamientos.

- Los valores de **actividad ureasa** antes del cultivo son bajos, sin embargo una vez se ha implantado el cultivo en ambos tratamientos se produce un incremento progresivo en esta actividad hasta el 1º corte, produciéndose posteriormente una disminución importante en dicha actividad en ambos tratamientos, que se mantiene en valores superiores en las parcelas tratadas dando como resultado una mayor liberación de nitrógeno.
- Las mayores concentraciones de **manganeso** se encuentran en las hojas, entando en niveles normales en ambos tratamientos, con mayores acumulaciones en las parcelas tratadas. Destacar que se produce una disminución con el tiempo en las parcelas tratadas, hasta alcanzar valores semejantes en ambos tratamientos en el 3º corte.
- Las mayores concentraciones de **hierro** se encuentran en las hojas, entando en niveles muy superiores a los normales en ambos tratamientos, no existiendo diferencias entre tratamientos. En el fruto las concentraciones de hierro son ligeramente superiores en el caso de las parcelas tratadas.
- Las concentraciones de **zinc** en hojas son ligeramente inferiores a las registradas en los frutos, siendo semejantes y estando en niveles normales en ambos tratamientos. En el fruto las concentraciones de zinc son superiores en las parcelas tratadas.
- Las mayores concentraciones de **cobre** se encuentran en las hojas, entando en niveles normales en ambos tratamientos, siendo la concentración ligeramente inferior en las parcelas tratadas. En el fruto las concentraciones de cobre son semejantes entre tratamientos.
- Las concentraciones de **sodio** en hojas son inferiores a las registradas en los frutos, siendo semejantes y estando en niveles normales en ambos tratamientos. En el fruto, en el 2º y 3º corte se produce un incremento de sodio en las parcelas control que no se observa en las parcelas tratadas.
- Las concentraciones de **potasio** en hojas son inferiores a las registradas en los frutos, siendo semejantes y estando en niveles deficitarios en ambos tratamientos. Las concentraciones de potasio en el fruto son ligeramente inferiores en las parcelas tratadas.

- Las mayores concentraciones de **magnesio** se encuentran en las hojas, entando en niveles ligeramente altos, semejantes y constantes en ambos tratamientos. En el fruto las concentraciones de magnesio son semejantes entre tratamientos.
- Las mayores concentraciones de **calcio** se encuentran en las hojas, manteniéndose relativamente constantes durante todo el cultivo, siendo ligeramente inferiores en las parcelas tratadas. Las concentraciones de calcio en el fruto son ligeramente superiores en las parcelas tratadas.
- Las concentraciones de **fósforo** en hojas son inferiores a las registradas en los frutos, estando en niveles normales en ambos tratamientos, siendo ligeramente superiores en las parcelas tratadas. Las concentraciones de fósforo en el fruto son ligeramente superiores en las parcelas tratadas.
- Las mayores concentraciones de **nitrógeno** se encuentran en las hojas, entando en niveles normales en ambos tratamientos, siendo ligeramente superiores en las parcelas tratadas. En el fruto las concentraciones de nitrógeno son semejantes entre tratamientos.
- En todos los cortes realizados el **peso medio** es superior en las parcelas tratadas, superando los 4 kg en los dos primeros cortes y los 3 kg en el tercero.
- Los frutos recolectados en las parcelas tratadas son ligeramente más grandes que en las control, tanto en su **diámetro axial** como **ecuatorial**, presentando la misma **forma, dureza, contenido en azúcares y grosores de corteza y pulpa** entre tratamientos.
- El **número de frutos** recolectados en el 1º corte es superior en la parcela control, mientras que en el 2º corte es semejante y en el 3º es ligeramente superior en las tratadas, con un total de 142 y 130 frutos recolectados en las parcelas control y tratadas respectivamente, lo que equivale a 9467 y 8667 frutos ha⁻¹ o lo que es lo mismo 0,94 y 0,86 frutos m⁻².
- En el 1º corte los **kilogramos recolectados** en las parcelas control son superiores a los recolectados en las parcelas tratadas, mientras que en 2º y 3º corte son superiores en el parcelas tratadas. De forma global, los kg recolectados en las parcelas tratadas asciende a 534 kg lo que equivale a 35,6 t ha⁻¹, mientras que en las parcelas control asciende a 515 kg lo que equivale a 34,3 t ha⁻¹; por lo que el tratamiento con el fitofortificante incrementa la producción en 1,3 t ha⁻¹.

Cultivo de maíz en Yechar

- Los **pH** de estos suelos en todas las parcelas estudiadas es moderadamente alcalino debido al alto contenido en **carbonatos**. No observándose ninguna variación significativa entre tratamientos, ni entre las muestras tomadas antes y después del cultivo.
- Antes del cultivo, la **salinidad** de las parcelas estudiadas es baja, sin embargo en las parcelas tratadas con el fitofortificante la salinidad aumenta ligeramente debido a un incremento de **sulfatos, cloruros, fosfatos, calcio, magnesio y potasio**. Por el contrario, en las parcelas control la salinidad disminuye debido al proceso de lixiviación.
- En todas las parcelas, tanto antes del cultivo como después del mismo, los niveles de **materia orgánica** son bajos. En las parcelas tratadas con el fitofortificante se produce un ligero aumento lo que podría ser debido a una cierta estabilización de la materia orgánica fresca procedente de los restos vegetales del cultivo por parte de las bacterias.
- La **CIC** de estos suelos presenta un valor ligeramente bajo para suelos agrícolas. No observándose ninguna variación significativa debida al efecto de la aplicación del fitofortificante.
- Los suelos de las parcelas de estudio tienen una **textura** areno arcillo limosa, con porcentajes de arcilla ligeramente inferiores y de arena ligeramente superiores en las parcelas tratadas que en las parcelas control. No existiendo diferencias entre antes y después del cultivo.
- Los valores iniciales de **C/N** son ligeramente altos, disminuyendo debido posiblemente a la aplicación de fertilización nitrogenada en ambos tratamientos, siendo ligeramente superior en el caso de las parcelas tratadas con el fitofortificante.
- Los niveles iniciales de **nitrógeno total** son bajos, incrementándose tanto en las parcelas control como en las tratadas en las mismas proporciones y concentraciones posiblemente debido al abonado. Pasado el 1º muestreo intermedio se produce un consumo de nitrógeno por parte del cultivo que ocasiona una disminución del mismo en el suelo, llegando a niveles muy semejantes en ambos tratamientos.

- Los valores de **fósforo asimilable** antes del cultivo en todas las parcelas son medios, produciéndose un aumento en el mismo desde el 1º muestreo intermedio hasta el final del cultivo, siendo este aumento significativamente superior en las parcelas tratadas, indicando que los microorganismos promueven la liberación de fósforo incrementando la fertilidad del suelo.
- Los valores de **cobre, hierro, zinc y manganeso asimilables** antes del cultivo en todas las parcelas son adecuados, bajos, altos y adecuados respectivamente, produciéndose una disminución en las parcelas control, mientras que por el contrario se produce un aumento en las parcelas tratadas, indicando que los microorganismos aportados promueven la liberación de cobre, hierro, zinc y manganeso asimilables incrementando la fertilidad del suelo.
- Los contenidos de **potasio intercambiable** antes del cultivo son ligeramente bajos, cuyos niveles siguen el mismo patrón de distribución en ambos tratamientos, produciéndose una disminución al comienzo del cultivo seguido de un ligero aumento al final del mismo.
- Los contenidos de **magnesio intercambiable** antes del cultivo son bajos, cuyos niveles aumentan ligeramente en el control para disminuir en el periodo de recolección, por el contrario en las parcelas tratadas las concentraciones se mantienen relativamente constante durante el cultivo.
- Los contenidos de **calcio intercambiable** en todas las parcelas de estudio son medios, no existiendo diferencias significativas entre tratamientos.
- Los contenidos de **sodio intercambiable** y los valores de **PSI** aumentan en el 1º muestreo intermedio, sobre todo en las parcelas no tratadas con el fitofortificante, llegando a valores que podrían afectar ligeramente la estabilidad de los agregados en las parcelas control, no obstante disminuyen rápidamente a valores sin riesgo en los siguientes muestreos, indicando que posiblemente se haya producido un desplazamiento de este elemento en el complejo de cambio seguido de un lavado del mismo durante los riegos, mejorando de este modo la estructura del suelo.
- Los valores de **Ca/Mg** indican que no existe riesgo de deficiencia de ninguno de estos dos elementos en ninguno de los tratamientos.
- Los valores de **K/Mg** durante todo el cultivo son altos, lo que indica una posible deficiencia de magnesio durante el cultivo.

- Los valores de **CBM** son en general bajos tanto antes como durante el cultivo en las parcelas control, sin embargo una vez aplicado el fitofortificante se produce un ligero aumento de los microorganismos que presenta su mayor nivel al final del cultivo en las parcelas tratadas.
- Los valores de **respiración** antes del cultivo son en general bajos, sin embargo una vez se ha implantado el cultivo en ambos tratamientos se produce un incremento en la actividad microbiana, siendo más acusado en el caso de las parcelas tratadas con el fitofortificante, para disminuir bruscamente al final del cultivo llegando a valores semejantes en ambos tratamientos.
- Los valores de **actividad fosfatasa y β -glucosidasa** antes del cultivo son bajos, sin embargo una vez se ha implantado el cultivo se produce un ligero incremento en esta actividad en las parcelas control en el 2º muestreo intermedio, siendo más acusado y progresivo en el caso de las parcelas tratadas con el fitofortificante desde el 1º muestreo intermedio, para disminuir en el muestreo final.
- Los valores de **actividad ureasa** antes del cultivo son muy bajos, sin embargo una vez se ha implantado el cultivo se produce un incremento progresivo en esta actividad en ambos tratamientos, siendo muy superior en el caso de las parcelas tratadas con el fitofortificante dando como resultado una mayor liberación de nitrógeno asimilable.
- Las mayores concentraciones de **manganeso** se encuentran en las hojas, entando en niveles normales en ambos tratamientos, con mayores acumulaciones en las parcelas tratadas. En los granos las concentraciones de manganeso son semejantes entre tratamientos.
- Las mayores concentraciones de **hierro** se encuentran en las hojas, entando en niveles normales en ambos tratamientos, sin embargo se observaron mayores concentraciones en las parcelas tratadas. En los granos las concentraciones de hierro son ligeramente superiores en el caso de las parcelas tratadas.
- Las concentraciones de **zinc** en hojas son superiores a las registradas en los granos, siendo semejantes y estando en niveles normales en ambos tratamientos. En los granos las concentraciones de zinc son semejantes en los dos tratamientos.
- Las mayores concentraciones de **cobre** se encuentran en las hojas, entando en niveles deficitarios en ambos tratamientos, siendo la concentración superior en las parcelas tratadas. En los granos las concentraciones de cobre son semejantes al

final del cultivo, siendo inferiores en las parcelas control en el muestreo intermedio.

- Las concentraciones de **sodio** en hojas son inferiores a las registradas en los granos, estando en niveles normales en el control y ligeramente elevados en el tratamiento con el fitofortificante. En los granos tanto el patrón de distribución como las concentraciones son semejantes.
- Las concentraciones de **potasio** en hojas son superiores a las registradas en los granos, siendo semejantes y estando en niveles deficitarios en ambos tratamientos. Las concentraciones de potasio en los granos son superiores en las parcelas tratadas.
- Las mayores concentraciones de **magnesio** se encuentran en las hojas, estando en niveles ligeramente bajos, siendo inferiores en las parcelas tratadas. En el grano las concentraciones de magnesio son semejantes entre tratamientos.
- Las mayores concentraciones de **calcio** se encuentran en las hojas, estando en niveles normales en ambos tratamientos, siendo superiores en las parcelas tratadas.
- Las concentraciones de **fósforo** en hojas son semejantes a las registradas en los granos, estando en niveles normales en ambos tratamientos, disminuyendo progresivamente en las parcelas control mientras que se mantienen constante en los dos primeros para aumentar en el final. Las concentraciones de fósforo en el grano son ligeramente superiores en las parcelas tratadas.
- Las mayores concentraciones de **nitrógeno** se encuentran en las hojas, estando en niveles deficitarios en ambos tratamientos, siendo ligeramente superiores en las parcelas tratadas. De igual modo, en los granos las concentraciones de nitrógeno son superiores en las parcelas tratadas.
- El **peso medio** de las mazorcas es superior en las parcelas tratadas en un 50%, llegando a 300 g, mientras que en las control alcanzan los 200 g.
- En cuanto al **diámetro** y **longitud** de las mazorcas, aquellas recolectadas en las parcelas tratadas fueron un 10% más gruesas y un 28% más largas que la recolectadas en las parcelas control.
- La aplicación de fitofortificante incremento en un 15% el **número de granos** de las mazorcas, y en un 31 % **el peso de cada grano**.

- Finalmente, las mazorcas tratadas con el fitofortificante presentaron más **proteínas** (+1,4%) y menos **almidón** (-4%) que las recolectadas en las parcelas control.

Cultivo de maíz en Córdoba

- Los **pH** de estos suelos en todas las parcelas estudiadas es moderadamente alcalino debido al alto contenido en **carbonatos**. No observándose ninguna variación significativa entre tratamientos, ni entre las muestras tomadas antes y después del cultivo.
- Antes del cultivo, la **salinidad** de las parcelas estudiadas es baja, la cual se reduce durante el cultivo debido al proceso de lixiviación de las sales ya que se lavan fuera del perfil de suelo los debido a un incremento de **sulfatos, cloruros, fosfatos, calcio, magnesio y potasio**.
- En todas las parcelas, tanto antes del cultivo como después del mismo, el nivel de **materia orgánica** es medio-bajo. En los dos tratamientos se produce una reducción de la materia orgánica por mineralización, la cual es atenuada en las parcelas tratadas por la actuación de los microorganismos aplicados en el fitofortificante.
- La **CIC** de estos suelos presenta un valor medio para suelos agrícolas. No observándose ninguna variación significativa debida al efecto de la aplicación del fitofortificante.
- Los suelos de las parcelas de estudio tienen una **franca**, con porcentajes de arcilla inferiores y de arena superiores en las parcelas tratadas que en las parcelas control. No existiendo diferencias entre antes y después del cultivo.
- Los valores iniciales de **C/N** son ligeramente altos, disminuyendo debido a la mineralización de la materia orgánica de forma semejante en ambos tratamientos.
- Los niveles iniciales de **nitrógeno total** son bajos, incrementándose tanto en las parcelas control como en las tratadas, siendo este aumento más importante en las tratadas, por lo que las bacterias podrían estar favoreciendo la fijación del nitrógeno.
- Los valores de **fósforo asimilable** antes del cultivo en todas las parcelas son bajos, produciéndose un aumento en ambos tratamientos, siendo este aumento significativamente superior en las parcelas tratadas, indicando que los

microorganismos promueven la liberación de fósforo incrementando la fertilidad del suelo.

- Los valores de **cobre asimilable** antes del cultivo en todas las parcelas son adecuados, produciéndose una disminución en ambos tratamientos, siendo menos importante en las parcelas tratadas, indicando que los microorganismos aportados promueven la liberación de cobre asimilables en el suelo contra restando parcialmente la absorción por el cultivo.
- Los valores de **hierro, zinc y manganeso asimilables** antes del cultivo en todas las parcelas son altos, medios y adecuados respectivamente, produciéndose un incremento en ambos tratamientos, siendo semejante para el hierro y más importante para el zinc y manganeso en las parcelas tratadas, lo que sugiere que los microorganismos aportados promueven la liberación de zinc y manganeso asimilables incrementando la fertilidad del suelo.
- Los contenidos de **potasio intercambiable** antes del cultivo son medios, cuyos niveles siguen el mismo patrón de distribución en ambos tratamientos, produciéndose una disminución a lo largo del cultivo.
- Los contenidos de **magnesio intercambiable** antes del cultivo son bajos, cuyos niveles aumentan ligeramente en el control, por el contrario en las parcelas tratadas las concentraciones se mantienen relativamente constante durante el cultivo.
- Los contenidos de **calcio intercambiable** en todas las parcelas de estudio son altos, no existiendo diferencias significativas entre tratamientos.
- Los contenidos de **sodio intercambiable** y los valores de **PSI** son bajos en ambos tratamientos, aumentando progresivamente a lo largo del cultivo de forma semejante pero sin causar problemas de estabilidad estructural.
- Los valores de **Ca/Mg** indican que puede existir riesgo de deficiencia de manganeso en ambos tratamientos.
- Los valores de **K/Mg** durante todo el cultivo son altos, lo que indica una posible deficiencia de magnesio durante el cultivo, no observándose ningún efecto del fitofortificante.

- Los valores de **CBM** son en muy bajos tanto antes como durante el cultivo en las parcelas control, sin embargo una vez aplicado el fitofortificante se produce un aumento de los microorganismos que decrece ligeramente al final del cultivo.
- Los valores de **respiración** antes del cultivo son en general bajos, sin embargo una vez se ha implantado el cultivo en ambos tratamientos se produce un incremento progresivo en la actividad microbiana, siendo más acusado en el caso de las parcelas tratadas con el fitofortificante.
- Los valores de **actividad fosfatasa, ureasa y β -glucosidasa** antes del cultivo son bajos, sin embargo una vez se ha implantado el cultivo se produce un ligero incremento en estas actividades en las parcelas control, siendo más acusado y progresivo en el caso de las parcelas tratadas con el fitofortificante.
- Las mayores concentraciones de **manganeso** se encuentran en las hojas, entando en niveles normales en ambos tratamientos, con mayores acumulaciones en las parcelas tratadas. En los granos las concentraciones de manganeso son semejantes entre tratamientos.
- Las mayores concentraciones de **hierro** se encuentran en las hojas, entando en niveles normales y semejantes en ambos tratamientos. En los granos las concentraciones de hierro son igualmente semejantes entre tratamientos.
- Las concentraciones de **zinc** en hojas son semejantes a las registradas en los granos estando en niveles normales en ambos tratamientos y siendo inferiores en las parcelas tratadas. En los granos las concentraciones de zinc son superiores en las parcelas control.
- Las mayores concentraciones de **cobre** se encuentran en las hojas, entando en niveles normales y semejantes en ambos tratamientos. En los granos las concentraciones de cobre son ligeramente inferiores en las parcelas tratadas.
- Las concentraciones de **sodio** en hojas son ligeramente superiores a las registradas en los granos, estando en niveles ligeramente altos en el control y normales en el tratamiento con el fitofortificante. En los granos las concentraciones de sodio son ligeramente inferiores en las parcelas tratadas.
- Las concentraciones de **potasio** en hojas son superiores a las registradas en los granos, estando en niveles deficitarios en las parcelas tratadas y normales en las

control, a una menor concentración asimilable en el suelo. Igualmente, las concentraciones de potasio en los granos son superiores en las parcelas control.

- Las mayores concentraciones de **magnesio** se encuentran en las hojas, estando en niveles ligeramente deficitarios en ambos tratamientos, siendo inferiores en las parcelas tratadas. En el fruto las concentraciones de magnesio son semejantes entre tratamientos.
- Las mayores concentraciones de **calcio** se encuentran en las hojas, estando en niveles normales en ambos tratamientos, siendo superiores en las parcelas tratadas. En el fruto las concentraciones de magnesio son semejantes entre tratamientos.
- Las concentraciones de **fósforo** en hojas son ligeramente inferiores a las registradas en los granos, estando en niveles normales en ambos tratamientos, siendo un poco superiores en las parcelas tratadas. Las concentraciones de fósforo en el fruto son semejantes entre tratamientos.
- Las mayores concentraciones de **nitrógeno** se encuentran en las hojas, estando en niveles deficitarios en ambos tratamientos, siendo ligeramente superiores en las parcelas tratadas. De igual modo, en los granos las concentraciones de nitrógeno son superiores en las parcelas tratadas.

**4. Efecto del fitofortificante
en las propiedades físico-
químicas y biológicas del
suelo rizosférico y no
rizosférico: balance
nutricional, calidad y
producción de melón y maíz**

4. Efecto del fitofortificante en las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo rizosférico y no rizosférico: balance nutricional, calidad y producción de melón y maíz

4.1. Objetivos

Objetivo general

El objetivo de este capítulo es el estudio del efecto de la aplicación de un fitofortificante (bacterias, *Pseudomonas fluorescens*) tanto en las propiedades físico-químicas como microbiológicas/bioquímicas de suelo rizosférico y no rizosférico implicadas en la dinámica de nutrientes en el sistema suelo-planta, así como su efecto en la calidad y producción del cultivo de melón y maíz.

Los objetivos específicos son:

1. Estudio del efecto del fortificante en las propiedades físico-químicas y microbiológicas/bioquímicas de suelo rizosférico y no rizosférico implicadas en la dinámica nutrientes.
2. Estudio del efecto de las bacterias fortificantes en los parámetros de calidad y producción de los cultivos.

4.2. Material y métodos

Cultivo de melón

Zona de estudio

La zona de estudio fue la misma que la utilizada en el ensayo mostrado en el capítulo 3, localizada en Yechar (Región de Murcia), en una parcela de 4,37 ha destinada al cultivo de melón piel de sapo, donde se ha seleccionado la parte central de la misma para la localización de las parcelas experimentales (Figura 4.1), la parcela consta de un cabezal de riego donde se realiza el abonado mediante fertirrigación.



Figura 4.1. Localización de la parcela experimental

El clima de la zona presenta una precipitación media anual de 293 mm y una temperatura media anual de 16 °C (serie histórica 1998-2014), cuya distribución para el año 2015, año del ensayo, se puede observar en la Figura 4.2. Destacar que durante el periodo de cultivo (desde el 24 de agosto hasta el 9 de octubre 2015) se produjo una precipitación de 144 mm y las temperaturas alcanzó máximos de 29,3 °C; con un valor medio de 21,8 °C.

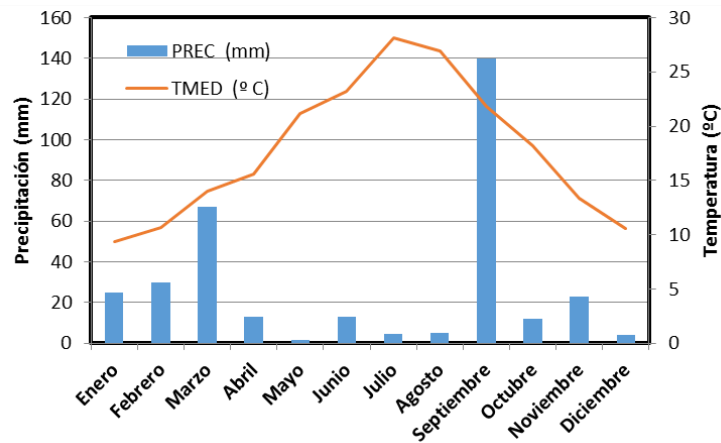


Figura 4.2. Climatograma de la zona de estudio

Diseño experimental

El diseño experimental en campo consistió en la construcción de 6 parcelas experimentales de 50 m² cada una, las cuales fueron establecidas el 24 de agosto de 2015. En tres de ellas se aplicó el fitofortificante a una dosis recomendada de 1 kg ha⁻¹ y otras tres se dejaron como control, donde no se llevó a cabo ningún tratamiento (Figura 4.3).

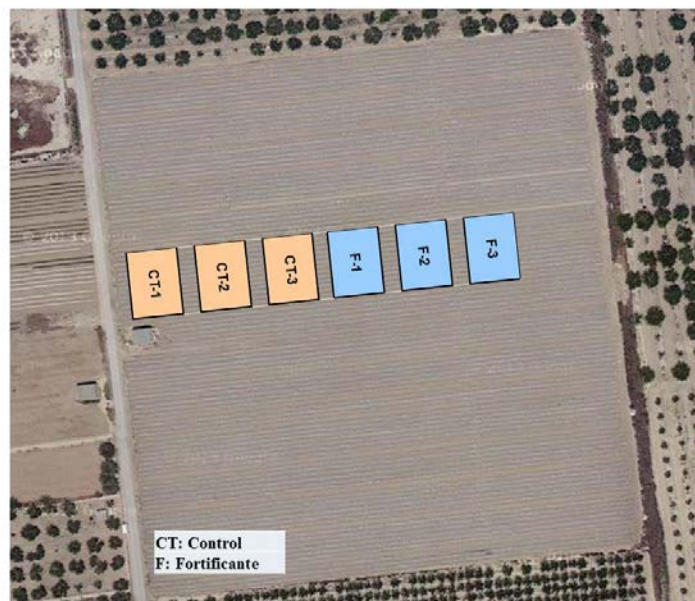


Figura 4.3. Esquema y localización de las parcelas experimentales

La implantación del cultivo tuvo lugar el 24 de agosto de 2015, y el muestreo inicial el 31 de agosto de 2015, mientras que la aplicación del fitofortificante fue el 2 de septiembre de 2015, todas las parcelas recibieron los tratamientos convencionales de fertilización y control fitosanitario, siendo el muestreo final el 9 de octubre de 2015.

Muestreos de suelos, plantas y frutos

Muestreo de suelos

Para la caracterización físico-química se realizó un muestreo al inicio del cultivo (31 de agosto de 2015), antes de la aplicación del fitofortificante, y uno al final correspondiente a suelo rizosférico y no rizosférico (9 de octubre de 2015). Por lo tanto el número de muestras para la caracterización físico-química de suelos fue 6 muestras de suelo al inicio y 12 muestras de suelo al final, dando un total de 18 muestras de suelo.

Cada una de las muestras de suelo tomadas en cada uno de los muestreos que se realizaron y en cada parcela experimental, estaba compuesta por 5 sub-muestras cogidas a una profundidad de 0-30 cm.

Muestreo de material vegetal

En cada una de las parcelas experimentales se seleccionaron 3 plantas de melón en las que no se observaron síntomas de carencias nutricionales, fisiopatías y/o enfermedades, de las cuales se tomó el material vegetal suficiente para realizar los análisis de laboratorio, ya sea hoja, raíz, tallo y fruto.

El material vegetal de cada parte del cultivo muestreada (hoja, raíz tallo y fruto) en cada una de las parcelas de ensayo fue mezclado y homogeneizado para su análisis, con lo que se tuvieron 3 muestras de cada una de las partes del cultivo por tratamiento.

Este muestreo se realizó al final del cultivo. Por lo tanto, el número de muestras para el análisis nutricional del cultivo fue de: 6 parcelas x 1 muestra/parcela x 4 órganos/planta x 1 muestreo = 24 muestras de material vegetal.

Muestreo de frutos para calidad y producción

Para el análisis de calidad se tomaron al azar 8 frutos en cada una de las parcelas experimentales, por lo que se tuvieron 24 frutos por tratamiento. Dando un total de 48 frutos analizados para evaluar la calidad del cultivo.

Por su parte, la producción se determinó tanto por el número de frutos recolectados como por el peso total recolectado, tanto por parcela como por tratamiento.

Cultivo de maíz

Zona de estudio

La zona de estudio fue la misma que la empleada en el ensayo mostrado en el capítulo 2, localizada en Yechar (Región de Murcia), en una finca experimental, donde se ha seleccionado una parte de esta para la localización de las parcelas experimentales (Figura 4.4), la finca consta de un cabezal de riego donde se realiza el abonado mediante fertirrigación. El clima de la zona fue el mismo que el descrito para el cultivo del melón.

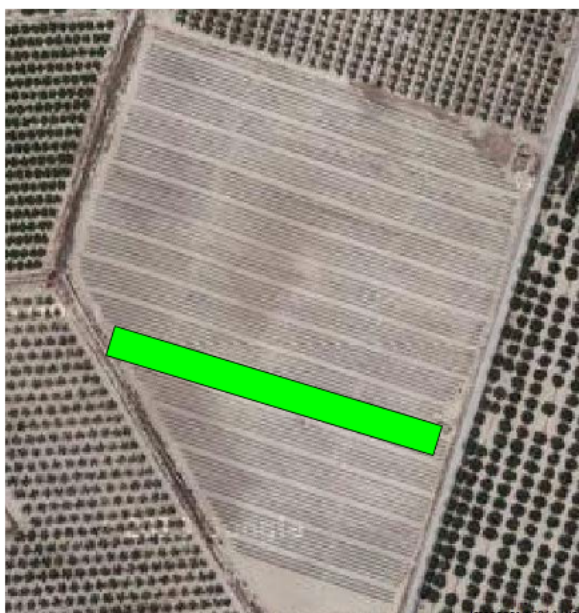


Figura 4.4. Localización de la parcela experimental

Diseño experimental

El diseño experimental en campo consistió en la construcción de 6 parcelas experimentales de 50 m² cada una, las cuales fueron establecidas el 11 de junio de 2014. En tres de ellas se aplicó el fitofortificante a una dosis recomendada de 1 kg ha⁻¹ y otras tres se dejaron como control, donde no se llevó a cabo ningún tratamiento (Figura 4.5).



Figura 4.5. Esquema y localización de las parcelas experimentales

La implantación del cultivo tuvo lugar el 24 de agosto de 2015, y el muestreo inicial el 31 de agosto de 2015, mientras que la aplicación del fitofortificante fue el 2 de septiembre de 2015, todas las parcelas recibieron los tratamientos convencionales de fertilización y control fitosanitario, siendo el muestreo final el 9 de octubre de 2014.

Muestreos de suelos, plantas y frutos

Muestreo de suelos

Para la caracterización físico-química se realizó un muestreo al inicio del cultivo (31 de agosto de 2015), antes de la aplicación del fitofortificante, y uno al final correspondiente a suelo rizosférico y no rizosférico (9 de octubre de 2015). Por lo tanto el número de muestras para la caracterización físico-química de suelos fue 6 muestras de suelo al inicio y 12 muestras de suelo al final, dando un total de 18 muestras de suelo.

Cada una de las muestras de suelo tomadas en cada uno de los muestreos que se realizaron y en cada parcela experimental, estaba compuesta por 5 sub-muestras cogidas a una profundidad de 0-30 cm.

Muestreo de material vegetal

En cada una de las parcelas experimentales se seleccionaron 3 plantas de maíz en las que no se observaron síntomas de carencias nutricionales, fisiopatías y/o enfermedades, de las cuales se tomó el material vegetal suficiente para realizar los análisis de laboratorio, ya sea hoja, raíz, tallo y mazorca.

El material vegetal de cada parte del cultivo muestreada (hoja, raíz tallo y mazorca) en cada una de las parcelas de ensayo fue mezclado y homogeneizado para su análisis, con lo que se tuvieron 3 muestras de cada una de las partes del cultivo por tratamiento.

Este muestreo se realizó al final del cultivo. Por lo tanto, el número de muestras para el análisis nutricional del cultivo fue de: 6 parcelas x 1 muestra/parcela x 4 órganos/planta x 1 muestreo = 24 muestras de material vegetal.

Muestreo de frutos para calidad

Para el análisis de calidad se tomaron al azar 15 mazorcas en cada una de las parcelas experimentales, por lo que se tuvieron 45 mazorcas por tratamiento. Dando un total de 90 mazorcas analizadas para evaluar la calidad del cultivo.

Análisis de laboratorio

Análisis de suelo

Unas vez las muestras fueron llevadas al laboratorio, éstas fueron secadas en una estufa con ventilación forzada a 30°C durante 48-72h, posteriormente fueron tamizadas con un tamiz de diámetro de luz de 2 mm, y una fracción de suelo fue molida en mortero de ágata.

Los análisis físico-químicos realizados fueron los siguientes:

Propiedades físico-químicas y microbiológicas/bioquímicas generales

- Acidez del suelo, pH del extracto 1:1 (Peech, 1965).
- Salinidad, conductividad eléctrica del extracto 1:5 (Andrades, 1996).
- Aniones solubles: sulfatos, cloruros, fosfatos y nitratos (Cromatografía iónica).
- Cationes solubles: calcio, magnesio, sodio y potasio (Cromatografía iónica).
- Carbono inorgánico, carbonatos (Elemental Analysis LECO CHNS).
- Carbono orgánico total. (Elemental Analysis LECO CHNS).
- Análisis granulométrico (FAO-ISRIC, 2006).
- Microelementos: hierro, cobre, zinc y manganeso (Linsay y Norvell, 1978).
- Carbono de la biomasa microbiana (indicador de biomasa microbiana total) determinado por el método de fumigación-extracción (Vance *et al.*, 1987).
- La respiración basal (medida de la actividad microbiana) se monitoriza durante 4 días a 55% de la capacidad de campo y 25°C en botes sellados conteniendo un vial con NaOH para absorber el CO₂ (Anderson, 1982)

Dinámica del nitrógeno

- Nitrógeno total (Analizador Elemental, LECO CHNS).
- Amonio (Cromatografía iónica).
- Nitratos (Cromatografía iónica).
- Nitritos (Cromatografía iónica).
- Actividad proteasa (Bonmatí *et al.* 1988; Kandeler *et al.*, 1999).
- Actividad ureasa (Nannipieri *et al.*, 1978; Kandeler *et al.*, 1999).

Dinámica del fósforo

- Fósforo total (USEPA, 1996)
- Fósforo asimilable (Watanabe y Olsen, 1965)
- Fosfatos (Cromatografía iónica)
- Actividad fosfodiesterasa (Bowman y Tabatabai, 1978)
- Actividad fosfatasa (Tabatabai y Bremner, 1969)

Análisis de material vegetal

El material vegetal muestreado, una vez en el laboratorio, fue lavado con agua destilada y secado en estufa con ventilación de aire forzado durante 24 h a 60 °C, posteriormente fue molido para proceder a su análisis. Los elementos determinados para el análisis nutricional del cultivo fueron los siguientes:

- Nitrógeno (Analizador Elemental, LECO CHNS).
- Fósforo (USEPA, 1996)
- Potasio, calcio, magnesio y sodio (USEPA, 1996)
- Hierro, cobre, zinc y manganeso (USEPA, 1996)

Análisis de frutos para determinar calidad y producción:

Los parámetros que se evaluaron para determinar la calidad de los frutos fueron los siguientes:

- Peso.
- Diámetro axial y ecuatorial.
- Forma del fruto.
- Grosor de la pulpa.
- Grosor de la corteza.
- Firmeza de la pulpa.

- Grados Brix.

Análisis de las mazorcas para determinar calidad y producción:

Los parámetros que se evaluaron para determinar la calidad de los frutos fueron los siguientes:

- Peso.
- Longitud.
- Diámetro.
- Número de granos por línea.
- Número de granos total.
- Peso de grano.
- Porcentaje de almidón.
- Porcentaje de proteína.

4.3. Resultados y discusión

Cultivo de melón

Propiedades físico-químicas del suelo

Acidez del suelo (pH)

En la Figura 4.6. se presentan los valores de pH tanto antes como al finalizar el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede observar el pH al inicio del ensayo el pH es moderadamente alcalino con valores cercanos a 7,7 (Porta *et al.*, 1999), lo cual se debe al alto contenido en carbonatos como se verá posteriormente. Observándose un incremento en las muestras tomadas al final del cultivo, siendo este mayor en la rizosfera, y en las parcelas control.

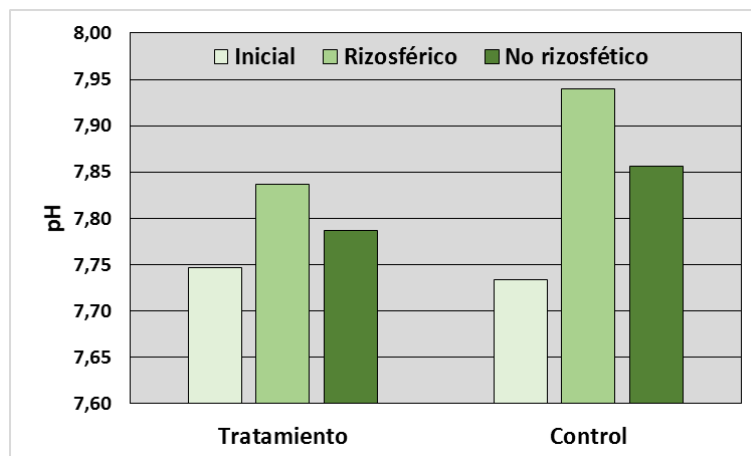


Figura 4.6. pH en las parcelas experimentales

Salinidad (conductividad eléctrica)

En la Figura 4.7. se presentan los valores de conductividad eléctrica tanto antes como al finalizar el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Antes del cultivo, la salinidad de las parcelas estudiadas es baja con valores cercanos a 850-900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que la zona no tiene problemas de salinidad, no esperándose ninguna reducción en la productividad por esta causa.

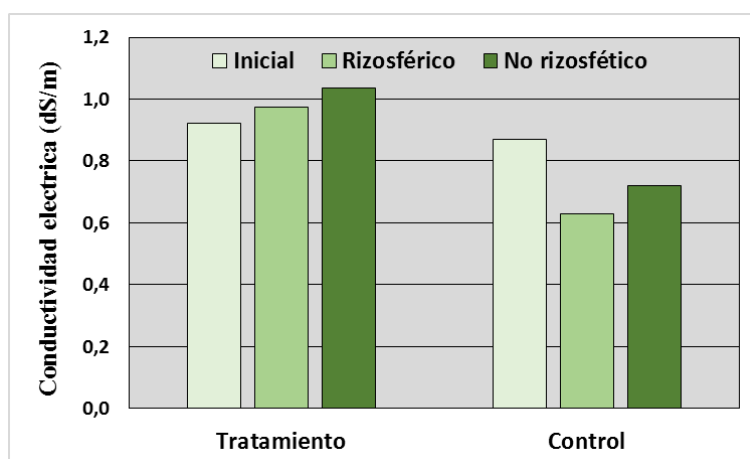
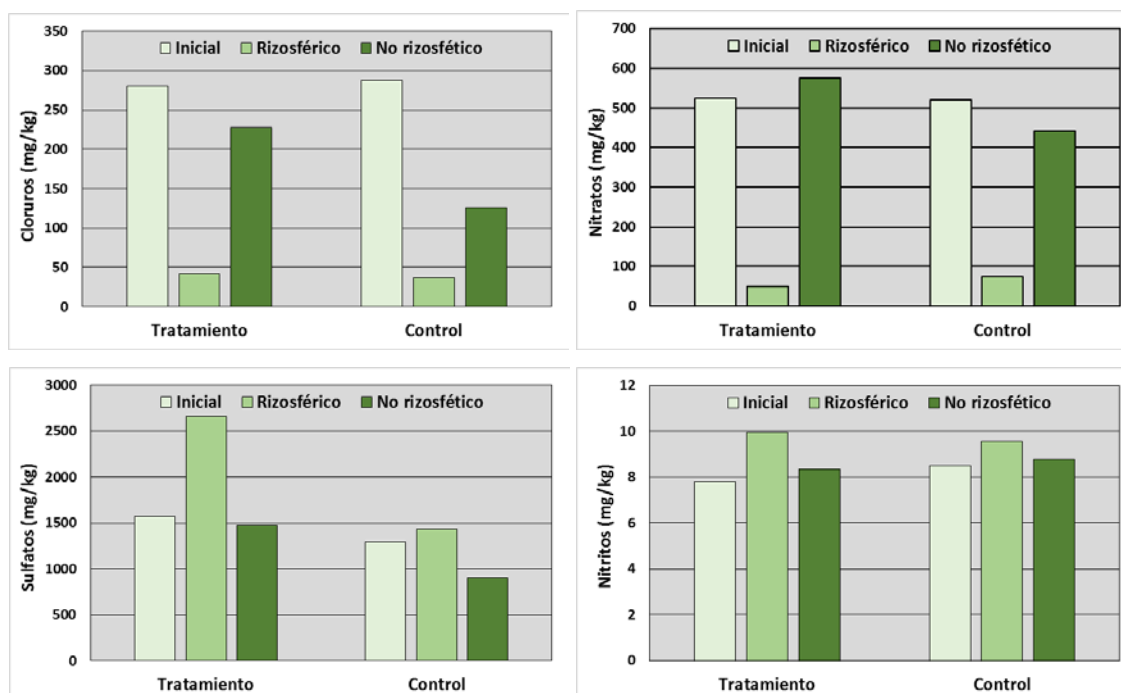


Figura 4.7. Conductividad eléctrica en las parcelas experimentales

Sin embargo, se puede observar que en las parcelas tratadas con el fitofortificante la salinidad aumenta ligeramente, pasando a valores cercanos a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por el contrario, en las parcelas control la salinidad disminuye a valores cercanos a 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos resultados indican que en las parcelas control se ha producido un lavado de sales solubles durante el cultivo debido al proceso de lixiviación, mientras que en las parcelas tratadas, posiblemente la liberación de nutrientes por parte de las bacterias haya provocado la acumulación de dichas sales.

Aniones solubles

Como se puede apreciar en la Figura 4.8., antes del cultivo las concentraciones de todos los aniones son semejantes en las parcelas control y en las parcelas tratadas.



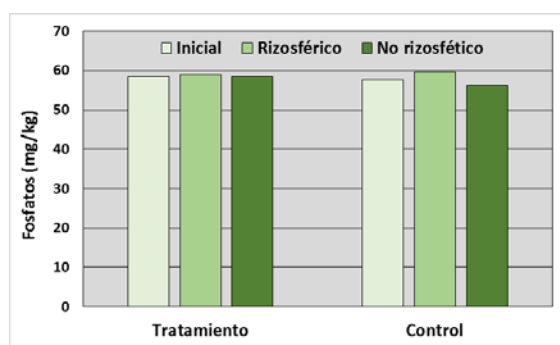


Figura 4.8. Aniones solubles en las parcelas experimentales

Una vez transcurrido el cultivo, se produce un incremento de sulfatos y nitritos en la rizosfera de las parcelas de ambos tratamientos, aunque de una forma más significativa en las tratadas, mientras que en los suelos no rizosféricos estos aniones se mantienen constantes e incluso en algún caso disminuyen. Lo cual indica que las bacterias podrían estar liberando nutrientes en forma de sulfatos del suelo incrementando de este modo su acumulación en el mismo.

Por el contrario, cloruros y nitratos disminuyen en la rizosfera de ambos tratamientos, lo cual es debido al proceso de lixiviación durante la aplicación de agua de riego, no afectando en este caso las bacterias.

Finalmente, los fosfatos se mantienen relativamente constantes durante el cultivo no observándose diferencias entre tratamientos, ni entre suelo rizosférico como no rizosférico.

Cationes solubles

En el caso de los cationes solubles todos ellos presentaron valores semejantes antes del cultivo en ambos tratamientos (Figura 4.9.). Por el contrario, y siguiendo con el mismo patrón encontrado con los aniones, las concentraciones de calcio, magnesio y potasio se incrementaron en la rizosfera de las parcelas tratadas, mientras que disminuyeron por el efecto de la lixiviación en las parcelas control y en el suelo no rizosférico de las parcelas tratadas.

Por su parte, el sodio soluble disminuyó en la rizosfera tanto de las parcelas tratadas como en las control, indicando que las sales lavadas serían principalmente cloruro de sodio, mientras que las sales que se acumulan en las rizosfera son sulfatos de calcio, magnesio y potasio.

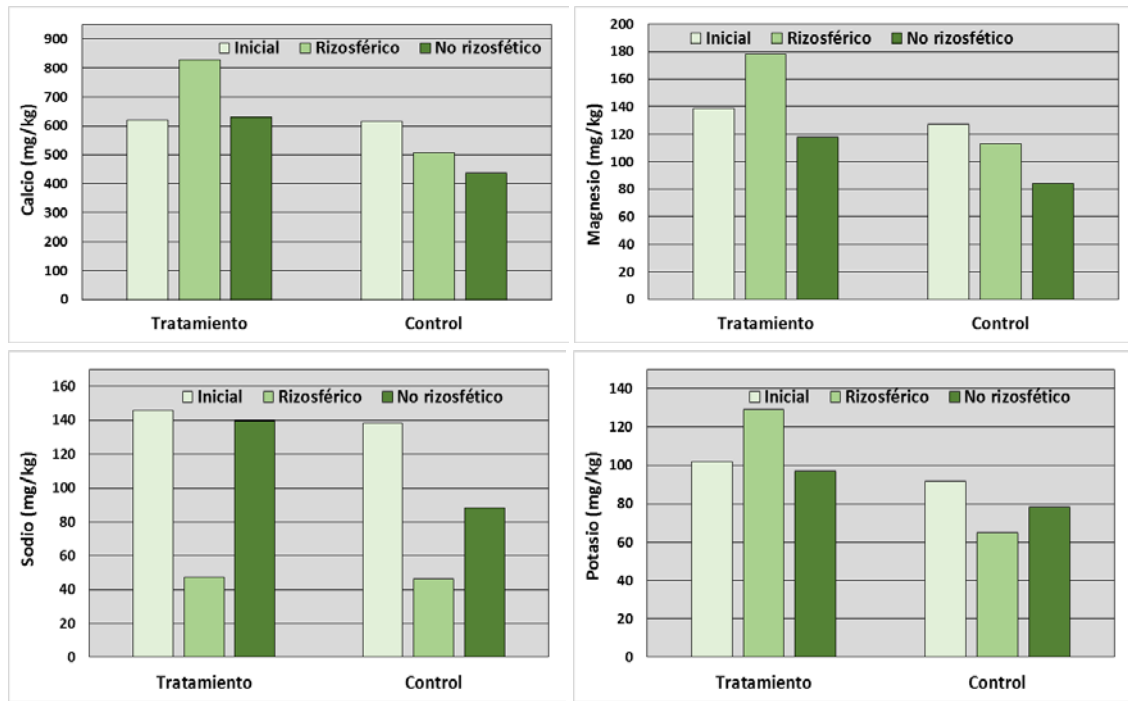


Figura 4.9. Cationes solubles en las parcelas experimentales

Carbono inorgánico (carbonatos)

En la Figura 4.10 se presentan los contenidos de carbonatos tanto antes como al finalizar el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede observar el contenido en carbonatos es elevado en todas las parcelas (Urbano, 2001), superior al 45%, no observándose ninguna variación significativa entre tratamientos. La presencia de estos valores tan elevados puede causar una deficiencia en la absorción de hierro, manganeso y fósforo por el cultivo en los suelos de estudio.

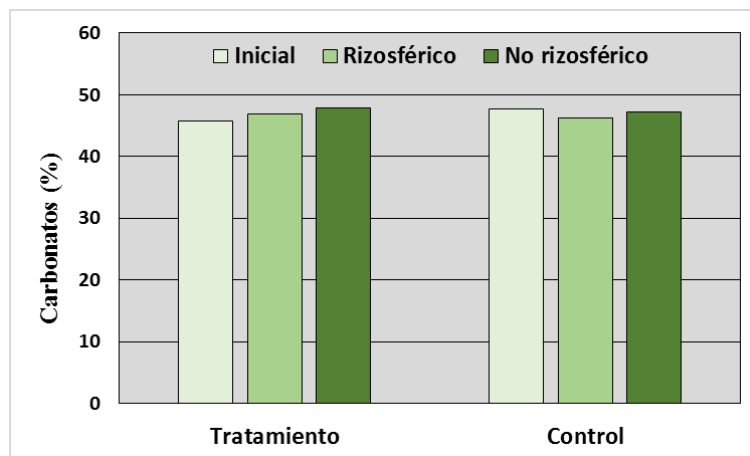


Figura 4.10. Carbonatos en las parcelas experimentales

Granulometría

En la Figura 4.11 se presentan los porcentajes de arcilla, limo y arena tanto antes como al finalizar el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede ver el suelo de las parcelas de estudio está equilibrado, con porcentajes de arcilla y limo del 30-35 %, y de arena del 25-30 %, por lo que se podrían catalogar como suelos franco arcillosos (FAO, 2006). No existiendo diferencias entre antes y después del cultivo en suelo rizosférico y no rizosférico, ni entre tratamientos.

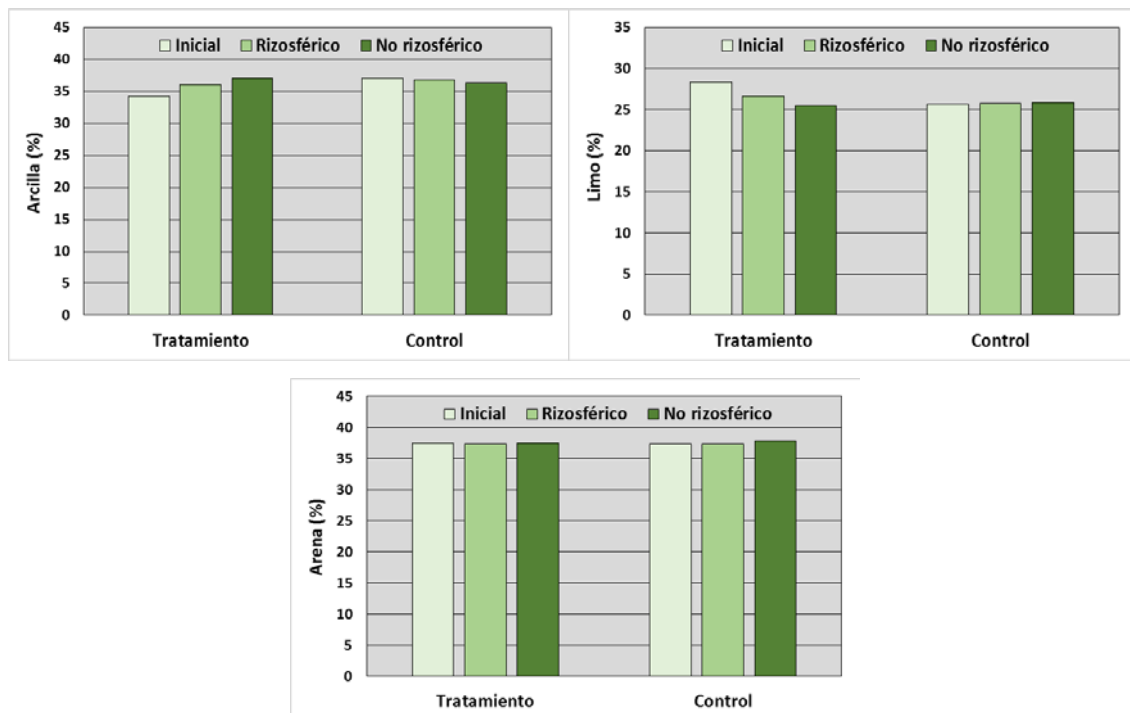


Figura 4.11. Arcilla, limo y arena en las parcelas experimentales

Carbono orgánico

En la Figura 4.12 se presentan los valores de carbono orgánico tanto antes como al finalizar el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. En todas ambos tratamientos antes del cultivo los niveles de carbono orgánico se encuentran cercanos al 1,2 % lo que equivale a un nivel de materia orgánica de 2 %, lo que se clasifica como un nivel medio de MO (Porta *et al.*, 1999). Transcurrido el cultivo, se produce un aumento en la rizosfera de ambos tratamientos mientras que en el suelo no rizosférico se mantiene constante, no observándose diferencias entre tratamientos, lo que indica que los incrementos observados son debidos a la segregación de compuestos orgánicos por las raíces y no por el efecto de las bacterias.

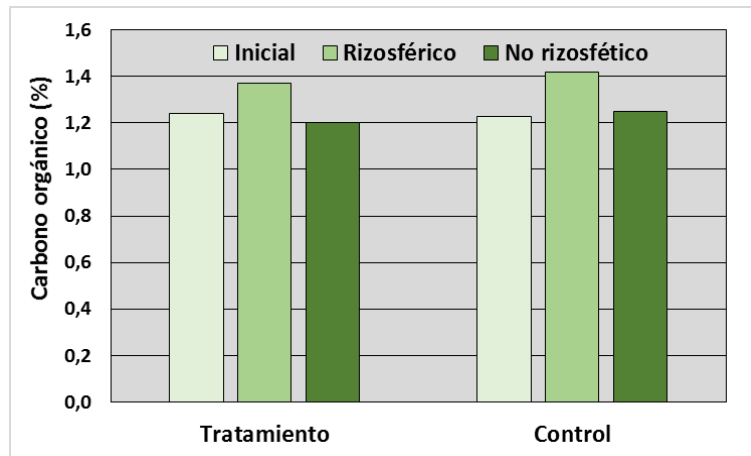


Figura 4.12. Carbono orgánico en las parcelas experimentales

Relación C/N

En la Figura 4.13 se presentan los valores de la relación C/N tanto antes como al finalizar el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Antes de realizar el cultivo, los valores de la relación C/N se encuentran próximos a 10 en ambos tratamientos, lo que son catalogados como valores normales, con una liberación de nitrógeno normal. Trascurrido el cultivo, se produce una disminución de la relación C/N en los suelos no rizosféricos (valores cercanos a 8), lo cual es debido al aumento de nitrógeno total, provocando una alta liberación de nitrógeno. Por el contrario, debido tanto al ligero aumento del carbono orgánico como a la disminución del nitrógeno en la rizosfera de las parcelas tratadas se produce un aumento de la relación C/N, indicando una menor liberación de N, aspecto que no se observa en la rizosfera de las parcelas control cuyo ratio se mantiene invariante.

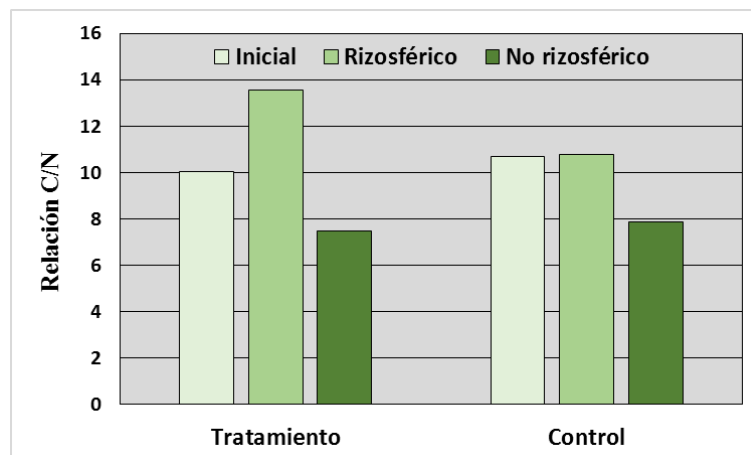


Figura 4.13. Relación C/N en las parcelas experimentales

Nitrógeno total

En la Figura 4.14 se presentan los valores de nitrógeno durante el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Antes de realizar el cultivo, los niveles de nitrógeno total se encuentran entorno al 1,2 g kg⁻¹ lo que se puede considerar un valor normal en suelos agrícolas (Urbano, 2001).

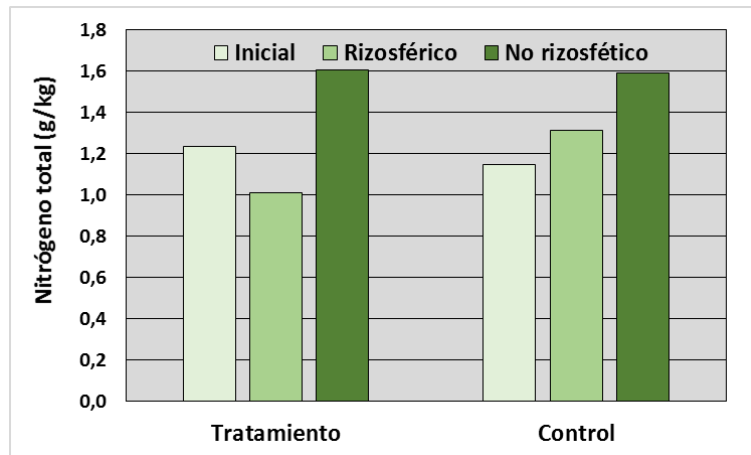


Figura 3.14. Nitrógeno total en las parcelas experimentales

Como se puede apreciar, tanto en las parcelas control como en las tratadas con el fitofortificante se produce un aumento en la concentración de nitrógeno en el suelo no rizosférico. Sin embargo, en el suelo rizosférico de las parcelas tratadas se produce una disminución con respecto al control, lo que podría indicar un mayor consumo de nitrógeno por parte de la planta, promovido por una mayor liberación de este elemento en el suelo.

Fósforo total

En la Figura 4.15 se presentan los valores de fósforo total durante el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Antes de realizar el cultivo, los niveles de fósforo total se encuentran entre 90 y 100 mg kg⁻¹ para ambos tratamientos. Sin embargo, tanto en el suelo no rizosférico de las parcelas control y tratadas con el fitofortificante como en el suelo rizosférico de las parcelas tratadas se produce una disminución en la concentración de fósforo, siendo mucho más acusado en este último caso, lo que podría indicar un mayor consumo de fósforo por parte de la planta, promovido por una mayor liberación de este elemento en el suelo por el efecto de las bacterias.

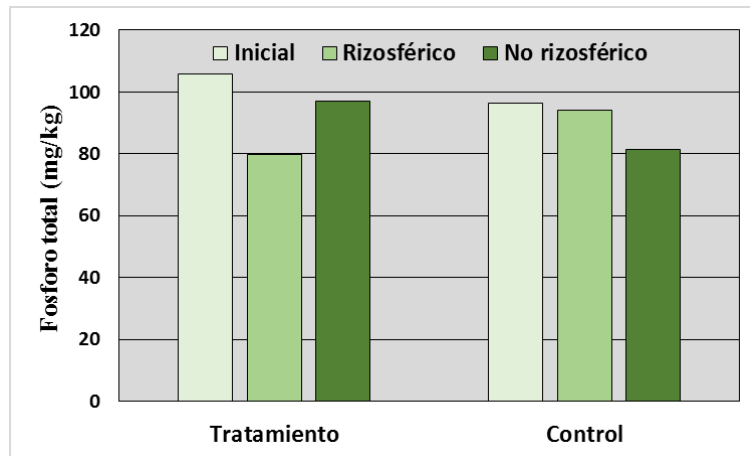


Figura 4.15. Fósforo total en las parcelas experimentales

Fósforo asimilable

En la Figura 4.16 se presentan los valores de fósforo asimilable durante el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de fósforo asimilable antes del cultivo en todas las parcelas son altos, ~85 mg/kg, por lo que no se esperan deficiencias nutricionales por causa de este elemento (Porta *et al.*, 1999).

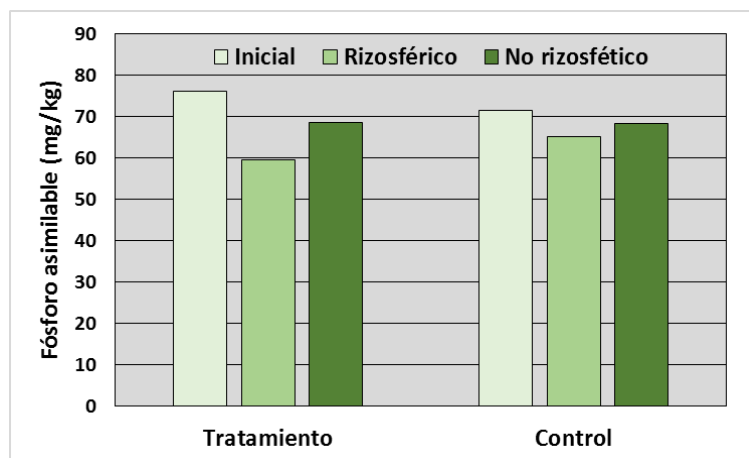


Figura 4.16. Fósforo asimilable en las parcelas experimentales

Como se puede apreciar, en ambos tratamientos se produce una disminución de fósforo asimilable tanto en los suelos rizosféricos como no rizosféricos, siendo más acusado en las parcelas tratadas, quizás debido a que los microorganismos promueven la liberación de fósforo y el cultivo lo ha absorbido, disminuyendo la concentración asimilable en el suelo.

Oligoelementos asimilables (Cu, Fe, Zn y Mn)

Cobre asimilable

En la Figura 4.17 se presentan los valores de cobre durante el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de cobre asimilable antes del cultivo en ambos tratamientos son adecuados (Thiagalingam, 2000), estando en todos los casos por encima de 2 mg/kg, por lo que no se esperan deficiencias nutricionales por causa de este elemento.

Al igual que en el caso del fósforo, en ambos tratamientos se produce una disminución de cobre asimilable tanto en los suelos rizosféricos como no rizosféricos, siendo más acusado en las parcelas tratadas y en la rizosfera, quizás debido a que los microorganismos promueven la liberación de este micronutriente y el cultivo lo ha absorbido en mayor proporción que en las parcelas no tratadas, disminuyendo la concentración asimilable en el suelo, no obstante sería necesario conocer la concentración total de este elemento en el suelo para saber con certeza si realmente ha sucedido esto, ya que también podría indicar que el fitofortificante no favorece la liberación de cobre y de ahí su menor concentración.

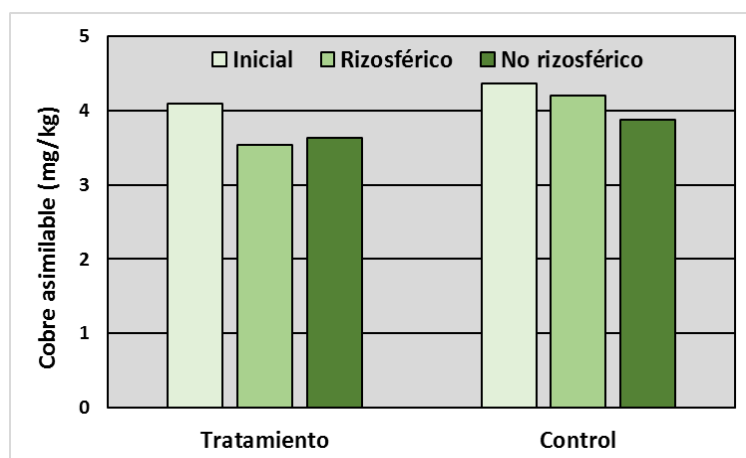


Figura 4.17. Cobre asimilable en las parcelas experimentales

Hierro asimilable

En la Figura 4.18 se presentan los valores de hierro asimilable durante el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de hierro asimilable antes del cultivo en todas las parcelas son adecuados (Thiagalingam, 2000), estando en todos los casos por encima de 4 mg/kg, por lo que no se esperan deficiencias nutricionales por causa de este elemento, a pesar del alto contenido en carbonatos y el alto pH de estos suelos.

En este caso, tanto en los suelos rizosféricos como no rizosférico se produce un aumento en las concentraciones de este elemento en ambos tratamientos, siendo más acusado en la rizosfera, indicando que la segregación de ácidos orgánicos por parte de la planta produce una liberación de este elemento del suelo. Sin embargo, las diferencias observadas entre tratamientos inducen a pensar que el fitofortificante incrementa la biodisponibilidad de este elemento actuando principalmente en la rizosfera de la planta.

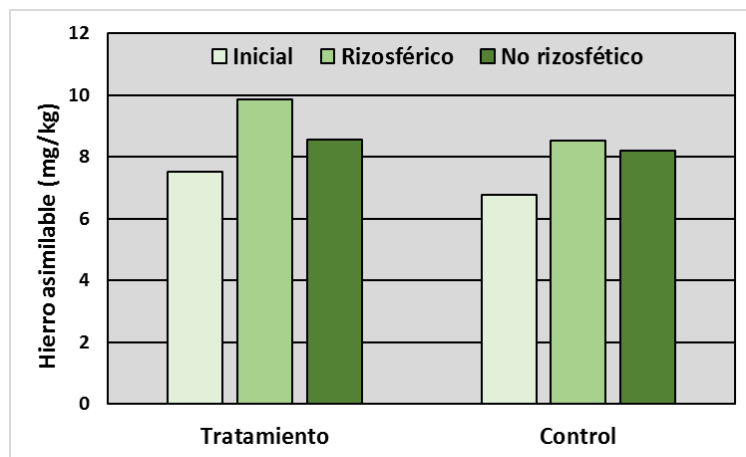


Figura 4.18. Hierro asimilable en las parcelas experimentales

Zinc asimilable

En la Figura 4.19 se presentan los valores de zinc asimilable durante el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Las concentraciones de zinc asimilable antes de realizar el cultivo son elevados (Thiagalingam, 2000), superando en todas las parcelas los 8 mg/kg, por lo que no se espera que exista deficiencias nutricionales por este elemento durante el cultivo.

Como ha sucedido en el caso del cobre bioasimilable, el zinc asimilable disminuye tanto en el suelo rizosférico como no rizosférico para los dos tratamientos, haciéndolo en mayor medida en la rizosfera del suelo tratado. Esto quizás sea debido a que los microorganismos promueven la liberación de este micronutriente y el cultivo lo ha absorbido en mayor proporción que en las parcelas no tratadas, disminuyendo la concentración asimilable en el suelo, no obstante sería necesario conocer su concentración total para saber con certeza si realmente ha sucedido esto, ya que también podría indicar que el fitofortificante no favorece la liberación de zinc y de ahí su menor concentración.

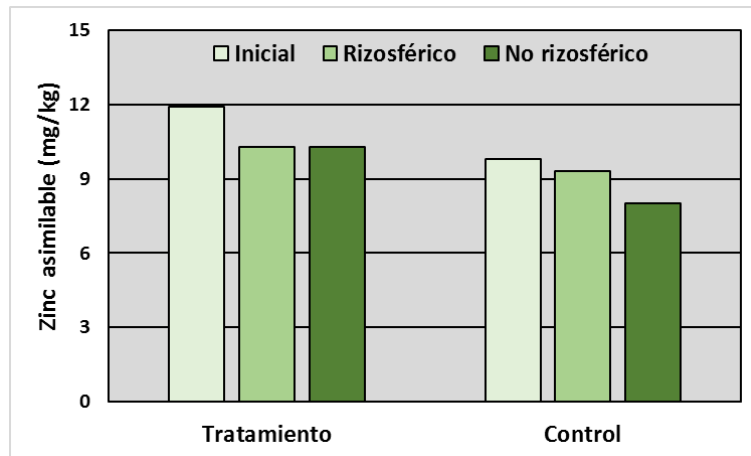


Figura 4.19. Zinc asimilable en las parcelas experimentales

Manganeso asimilable

En la Figura 4.20 se presentan los valores de manganeso asimilable durante el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de manganeso asimilable antes del cultivo en todas las parcelas son adecuados (Thiagalingam, 2000), estando en todos los casos próximos a 9 mg/kg, por lo que no se esperan deficiencias nutricionales por causa de este elemento.

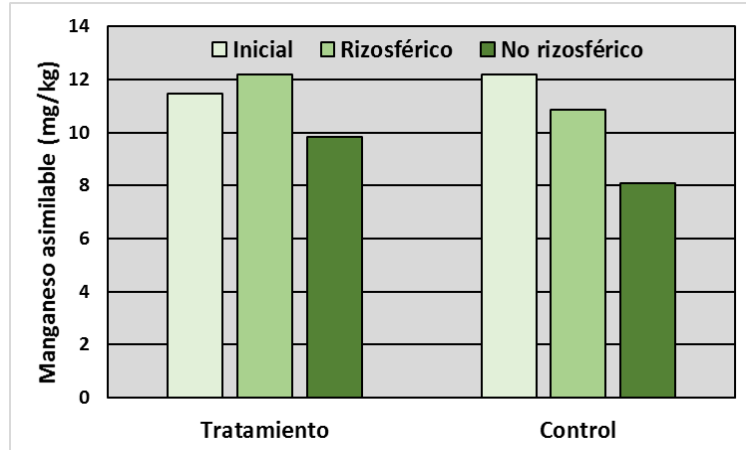


Figura 4.20. Manganeso asimilable en las parcelas experimentales

Como se puede apreciar, el comportamiento de las concentraciones de manganeso asimilable en los suelos no rizosféricos son semejantes entre tratamientos, disminuyendo en ambos casos. Por el contrario, en los suelos rizosféricos se produce un aumento en las parcelas tratadas mientras que en las control disminuye, lo que indica que el fitofortificante produce una mayor liberación de este elemento en el suelo.

Propiedades microbiológicas/bioquímicas del suelo

Carbono de la biomasa microbiana

En la Figura 4.21 se presentan los valores de carbono de la biomasa microbiana durante el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de CBM antes del cultivo son en general bajos, próximos a 100 mg/kg, indicando un bajo contenido de microorganismos en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

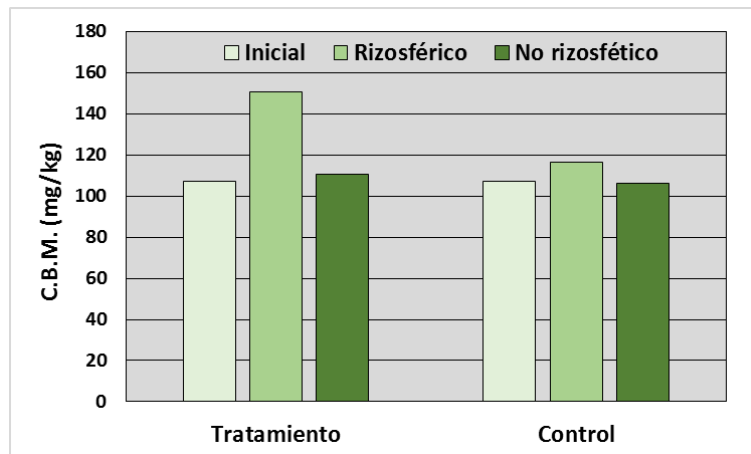


Figura 4.21. Carbono de la biomasa microbiana en las parcelas experimentales

Por el contrario, una vez aplicado el fitofortificante se produce un aumento muy significativo de los microorganismos, hasta alcanzar los 150 mg/kg en el suelo rizosférico, aspecto que no ocurre en la parcela control, cuyo contenido aumenta ligeramente. Por el contrario, en el suelo no rizosférico la cantidad de bacterias se mantiene prácticamente como en las condiciones iniciales tanto en las parcelas tratadas como en las control. Estos resultados indican que las bacterias aportadas tienen tendencia a acumularse en el suelo próximo a las raíces donde su proliferación es mayor debido a unas mejores condiciones edáficas.

Respiración

En la Figura 4.22 se presentan los valores de respiración basal durante el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de respiración antes del cultivo son en general bajos, con valores próximos a 2,5 mg C-CO₂ kg⁻¹h⁻¹, indicando una baja actividad microbiana en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

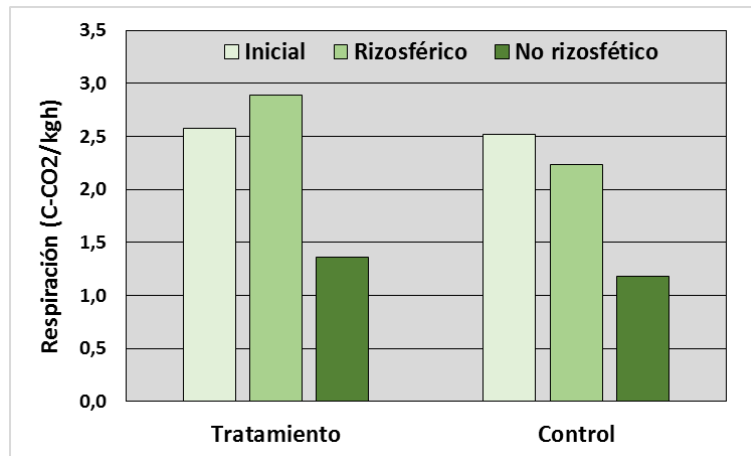


Figura 4.22. Respiración en las parcelas experimentales

Sin embargo, una vez se ha implantado el cultivo en el tratamiento con el fitofortificante, se produce un incremento en la actividad microbiana en la rizosfera, aspecto que no se observa en las parcelas control cuya respiración disminuye ligeramente. Por su parte, en los suelos no rizosféricos, la respiración basal disminuye drásticamente, sin que se observen diferencias entre tratamientos, por lo que las condiciones ambientales serían las responsables de esta disminución independientemente del tratamiento.

Actividad fosfatasa

En la Figura 4.23 se presentan los valores de actividad fosfatasa durante el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar en la figura siguiente, los valores de actividad fosfatasa antes del cultivo en las parcelas de estudio de ambos tratamientos son en general bajos, 0,2 $\mu\text{mol P-nitrofenol g}^{-1}\text{h}^{-1}$, indicando una baja actividad fosfatasa en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

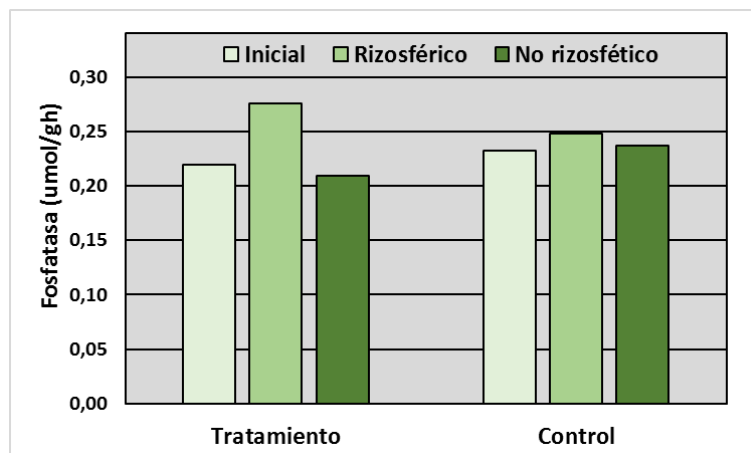


Figura 4.23. Actividad fosfatasa en las parcelas experimentales

Por su parte, al finalizar el cultivo, se observa un ligero aumento en dicha actividad en el suelo rizosférico, tal y como se aprecia tanto en las parcelas control como tratadas, siendo este superior en este último caso, debido al incremento de los microorganismos en las parcelas tratadas con el fitofortificante, lo cual favorece el incremento de la actividad fosfatasa, favoreciendo la liberación de fósforo asimilable para el cultivo. Por el contrario, en el suelo no rizosférico la actividad de esta enzima se mantiene constante.

Actividad fosfodiesterasa

Las fosfodiesterasas pertenecen al grupo de enzimas que catalizan la hidrólisis de los ácidos ribo y desoxiribonucleico, liberando sus respectivos nucleótidos, así como las fosfolipasas, que catalizan la hidrólisis de fosfolípidos. Estas enzimas están vinculadas al ciclo biogeoquímico del fósforo, ya que favorecen la mineralización del fósforo orgánico a fosfatos.

En la Figura 4.24 se presentan los valores de actividad fosfodiesterasa durante el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar en la figura siguiente, los valores de actividad fosfodiesterasa antes del cultivo en las parcelas de estudio de ambos tratamientos son en general bajos, $0,045 \mu\text{mol P-nitrofenol g}^{-1}\text{h}^{-1}$, indicando una baja actividad de estas enzimas en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

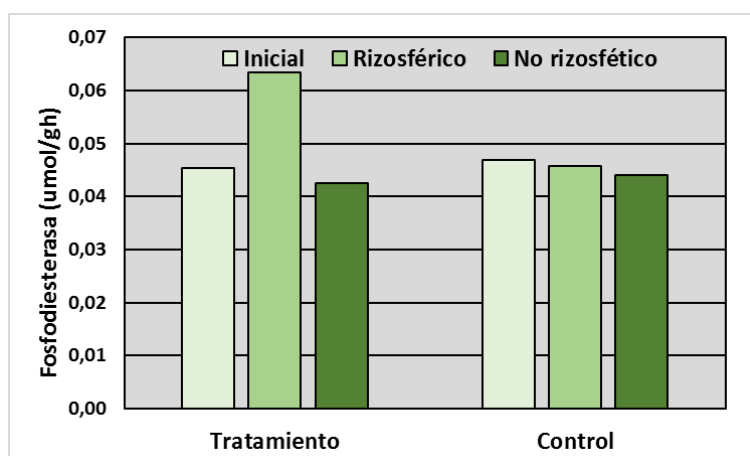


Figura 4.24. Actividad fosfodiesterasa en las parcelas experimentales

Sin embargo, en el suelo rizosférico de las parcelas tratadas se produce un aumento en dicha actividad, actuando sobre los compuestos orgánicos de fósforo liberando fosfatos que pueden ser absorbidos por la planta. En el caso del suelo no

rizosférico de ambos tratamientos y del rizosférico en las parcelas control, no produce ninguna variación significativa en dicha actividad, manteniéndose en los niveles iniciales.

Actividad ureasa

En la Figura 4.25 se presentan los valores de actividad ureasa durante el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de actividad ureasa antes del cultivo en las parcelas estudiadas son muy bajos, cercanos a $0,1-0,2 \mu\text{mol NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, indicando una baja actividad ureasa en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

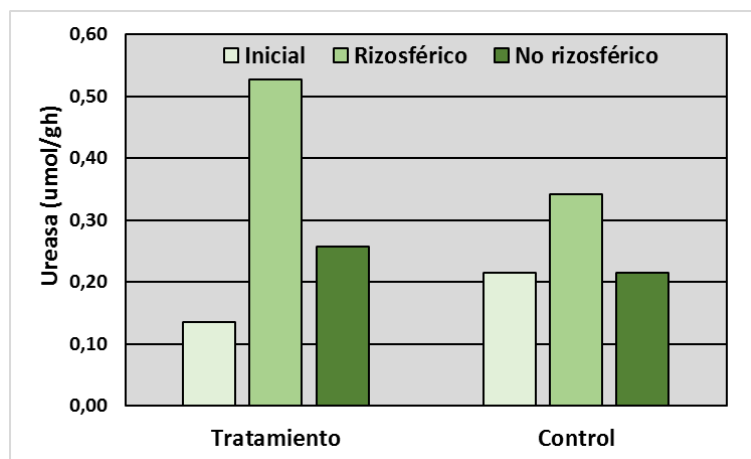


Figura 3.25. Actividad ureasa en las parcelas experimentales

Sin embargo, en el suelo rizosférico de ambos tratamiento se produce un aumento en dicha actividad, el cual es significativamente mayor cuando aplicamos el fitofortificante, actuando sobre los compuestos con enlaces C-N liberando nitrógeno que puede ser absorbido por la planta. En el caso del suelo no rizosférico, en las parcelas tratadas también se produce un aumento en dicha actividad, aunque este solamente alcanza los $0,25 \mu\text{mol NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, mientras que las parcelas no tratadas se mantiene en los niveles iniciales.

Actividad proteasa

La actividad proteasa es la responsable de la descomposición progresiva del N contenido en las proteínas a N peptídico y, finalmente a N de aminoácidos. Las enzimas del suelo, catalizadores de esta actividad, provienen de la mayoría de los microorganismos contenidos en él, así como de residuos vegetales y de su fauna. Su acción consiste siempre en la hidrólisis del enlace peptídico (Bonmatí *et al.*, 2003).

En la Figura 4.26 se presentan los valores de actividad proteasa durante el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de actividad proteasa antes del cultivo en las parcelas estudiadas son bajos, cercanos a $0,8-1,0 \mu\text{mol NH}_4 \text{ g}^{-1}\text{h}^{-1}$, indicando una baja actividad proteasa en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

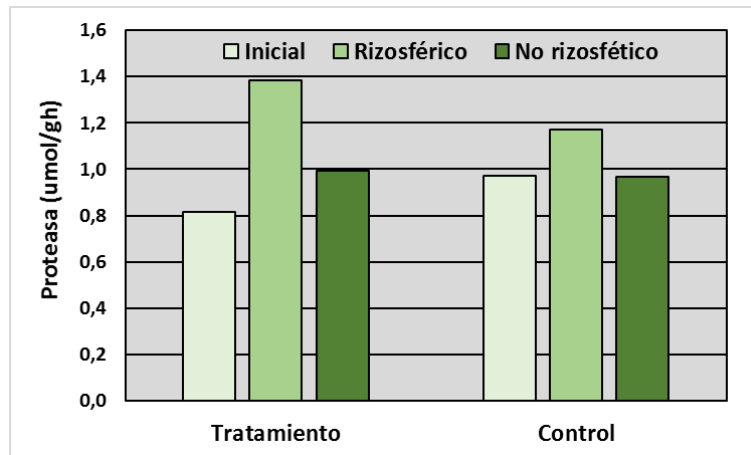


Figura 4.26. Actividad proteasa en las parcelas experimentales

Sin embargo, en el suelo rizosférico de ambos tratamiento se produce un aumento en dicha actividad, el cual es significativamente mayor cuando aplicamos el fitofortificante, actuando sobre los enlaces peptídicos liberando nitrógeno que puede ser absorbido por la planta. En el caso del suelo no rizosférico, en las parcelas tratadas también se produce un aumento en dicha actividad, aunque este solamente alcanza los $1,0 \mu\text{mol NH}_4 \text{ g}^{-1}\text{h}^{-1}$, mientras que las parcelas no tratadas se mantiene en los niveles iniciales.

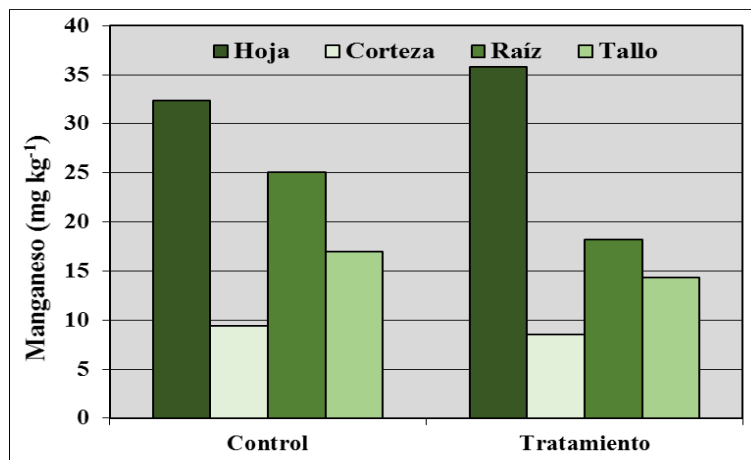
Balance nutricional

A continuación se presentan las concentraciones de nutrientes en el cultivo del melón, en hojas, raíz, tallo y corteza del fruto, en el momento de la recolección.

Micronutrientes

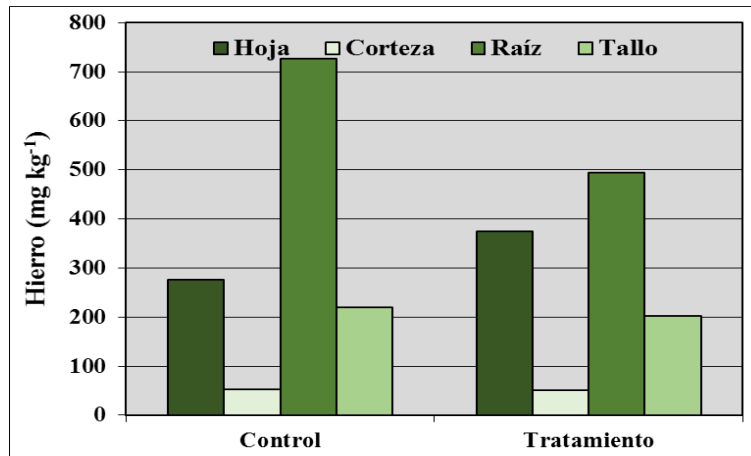
En la Figuras 4.27 se muestra las concentraciones de manganeso en hojas, raíz, tallo y corteza del fruto, cuyo rango normal en hojas oscila entre $50-100 \text{ mg kg}^{-1}$. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, estando en niveles ligeramente bajos en ambos tratamientos, $30-35 \text{ mg kg}^{-1}$, aunque se aprecian mayores acumulaciones en las parcelas tratadas. Destacar que en el caso de raíz y tallo las concentraciones de manganeso son mayores en las parcelas control, mientras que en la corteza del fruto estas son semejantes entre tratamientos. Estos resultados indican que se

produce una mayor absorción de manganeso por parte de las plantas control mientras que su translocación es menor.



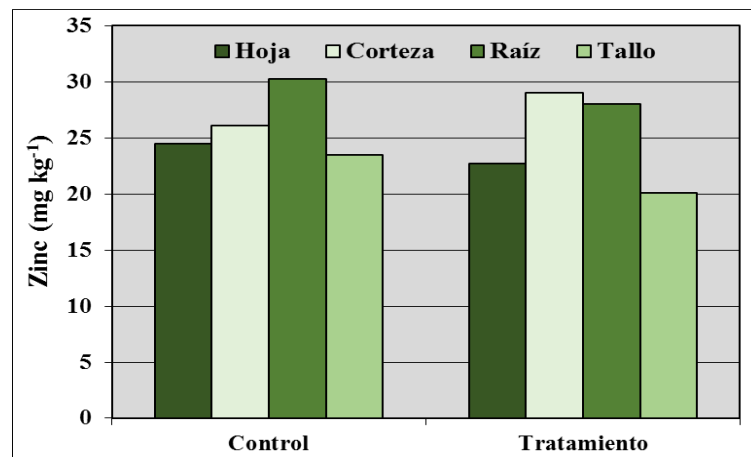
Figuras 4.27. Concentraciones de manganeso en la planta de melón (hoja, raíz, tallo y corteza de fruto)

En la Figura 4.28 se muestran las concentraciones de hierro en hojas, raíz, tallo y corteza del fruto, cuyo rango normal en hojas oscila entre 60-120 mg kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en la raíz en ambos tratamientos, siendo superiores en el caso de las parcelas control. Por su parte, en las hojas los niveles son muy superiores a los normales en ambos tratamientos, alcanzando los 250 mg kg⁻¹ en las parcelas control y a los 350 mg kg⁻¹ en las tratadas, indicando que se ha producido un exceso en la absorción de hierro, no siendo necesaria la fertilización de este elemento, no produciéndose bloqueo del mismo debido tanto al alto porcentaje de carbonatos como al alto valor de pH de estos suelos. Por su parte, tanto en tallo como en corteza del fruto las concentraciones de hierro son semejantes entre tratamientos. Estos resultados indican, al igual que para el manganeso, que se produce una mayor absorción de hierro por parte de las plantas control mientras que su translocación hacia las hojas es menor.



Figuras 4.28. Concentraciones de hierro en la planta de melón (hoja, raíz, tallo y corteza de fruto)

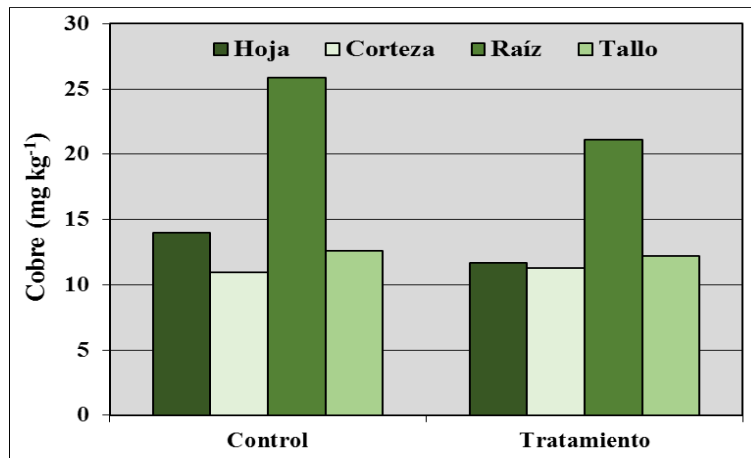
En la Figura 4.29 se muestran las concentraciones de zinc en hojas, raíz, tallo y corteza del fruto, cuyo rango normal en hojas oscila entre 20-80 mg kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se observan tanto en corteza como en raíz, siendo algo inferiores en hoja y tallo, estando dentro del rango de niveles normales en hoja para ambos tratamientos sin diferencias significativas. Estos resultados indican que la translación de zinc se produce hacia la corteza de los frutos siendo más significativo en el caso de las parcelas tratadas.



Figuras 4.29. Concentraciones de zinc en la planta de melón (hoja, raíz, tallo y corteza de fruto)

En la Figura 4.30 se muestran las concentraciones de cobre en hojas, raíz, tallo y corteza del fruto, cuyo rango normal en hojas oscila entre 5-20 mg kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en la raíz en ambos tratamientos, siendo superiores en el caso de las parcelas control. Por su parte, en las hojas los niveles están en el rango de niveles normales en ambos tratamientos, sin grandes diferencias entre los mismos. De igual modo, tanto en tallo como en corteza del fruto las concentraciones de

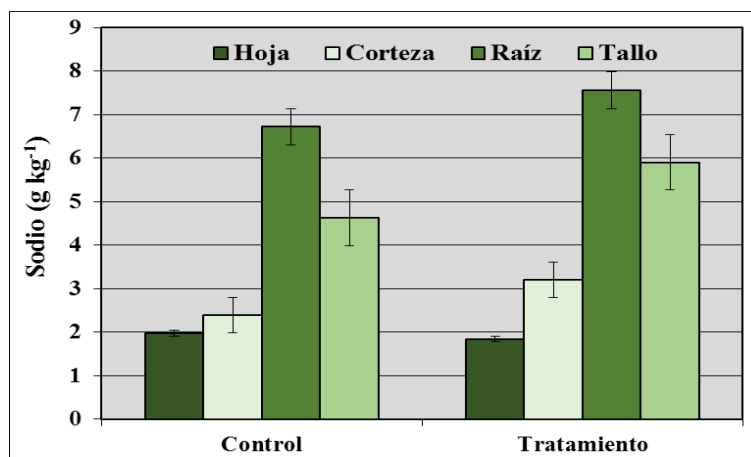
cobre son semejantes entre tratamientos. Estos resultados indican, que se produce una mayor absorción de cobre por parte de las plantas control este no se transloca hacia los órganos aéreos.



Figuras 4.30. Concentraciones de cobre en la planta de melón (hoja, raíz, tallo y corteza de fruto)

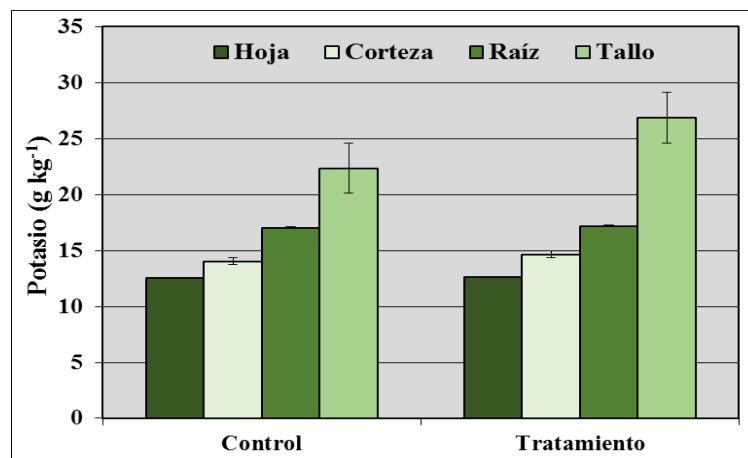
Macronutrientes

En la Figura 4.31 se muestran las concentraciones de sodio en hojas, raíz, tallo y corteza del fruto, cuyo rango normal en hojas oscila entre 0,1-2 g kg⁻¹. Como se puede apreciar, las mayores concentraciones se encuentran en la raíz y tallo, mientras que en corteza de frutos y hojas las concentraciones son muy inferiores, indicando una escasa translocación de este elemento en la planta, lo cual sucede de forma semejante en ambos tratamientos. En ambos tratamientos los niveles en hoja se encuentran dentro del rango normal, por lo que no se espera deficiencias ni toxicidad en la planta. No obstante, se observa una ligera mayor absorción de este elemento en las parcelas tratadas, al igual que una mayor translocación a los frutos.



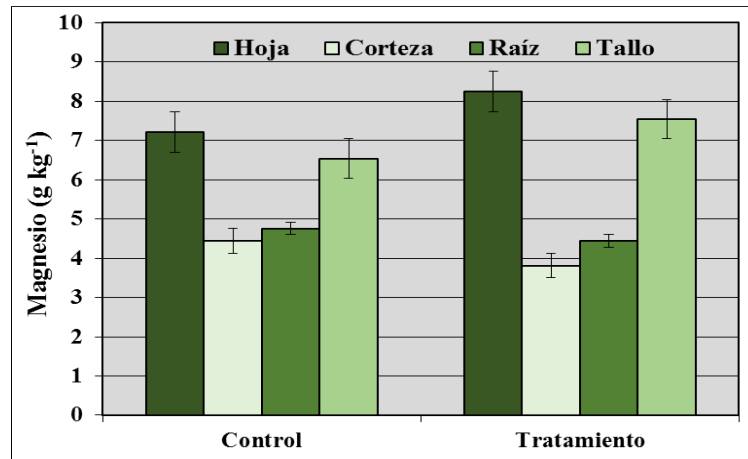
Figuras 4.31. Concentraciones de sodio en la planta de melón (hoja, raíz, tallo y corteza de fruto)

En la Figura 4.32 se muestran las concentraciones de potasio en hojas, raíz, tallo y corteza del fruto, cuyo rango normal en hojas oscila entre 25-50 g kg⁻¹. Como se puede ver, las concentraciones en hojas son inferiores a las normales, estando en niveles deficitarios en ambos tratamientos. Además, el patrón de distribución en ambos tratamientos es el mismo, donde se produce una mayor acumulación en el tallo, siendo este más significativo en el caso de las parcelas tratadas con el fitofortificante. No obstante, para el resto de órganos de la planta las concentraciones son semejantes entre tratamientos, lo que puede indicar una mayor translocación de potasio al tallo de las plantas tratadas.



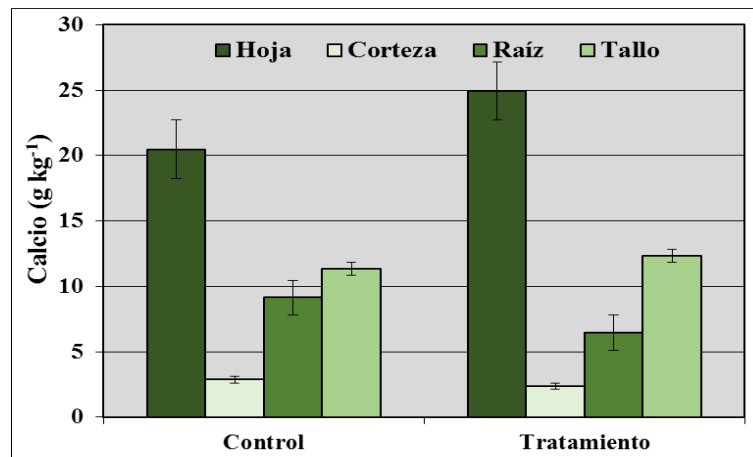
Figuras 4.32. Concentraciones de potasio en la planta de melón (hoja, raíz, tallo y corteza de fruto)

En la Figura 4.33 se muestran las concentraciones de magnesio en hojas, raíz, tallo y corteza del fruto, cuyo rango normal en hojas oscila entre 5-10 g kg⁻¹. Como se puede apreciar, las mayores concentraciones se encuentran en la hoja y tallo, mientras que en corteza de frutos y raíz las concentraciones son inferiores, indicando una alta translocación de este elemento en la planta, lo cual sucede de forma semejante en ambos tratamientos. En ambos tratamientos los niveles en hoja se encuentran dentro del rango normal, por lo que no se espera deficiencias en la planta. No obstante, se observa una ligera mayor translocación y acumulación de este elemento hacia hojas y tallo en las parcelas tratadas.



Figuras 4.33. Concentraciones de magnesio en la planta de melón (hoja, raíz, tallo y corteza de fruto)

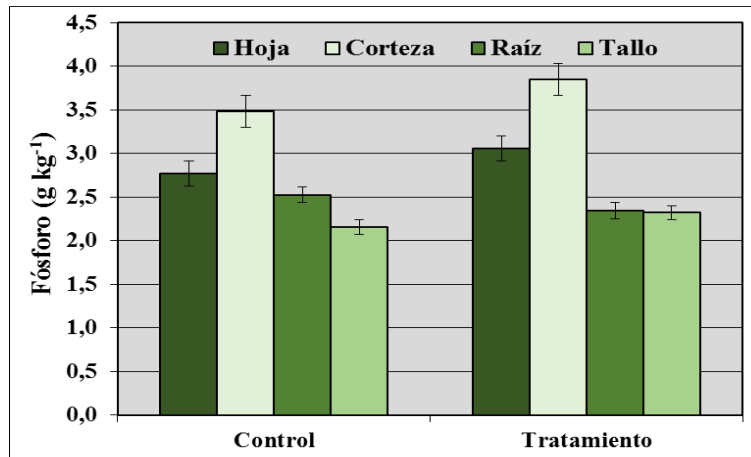
En la Figura 4.34 se muestran las concentraciones de calcio en hojas, raíz, tallo y corteza del fruto, cuyo rango normal en hojas oscila entre 20-35 g kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, entando en niveles normales en ambos tratamientos, indicando una adecuada nutrición del cultivo para este elemento. Destacar que el patrón de distribución es semejante en ambos tratamientos, sin observarse diferencias entre las concentraciones en corteza y tallo, mientras que estas son ligeramente superiores en las hojas de las parcelas tratadas. Estos resultados indican que el calcio es principalmente translocado a las hojas.



Figuras 4.34. Concentraciones de calcio en la planta de melón (hoja, raíz, tallo y corteza de fruto)

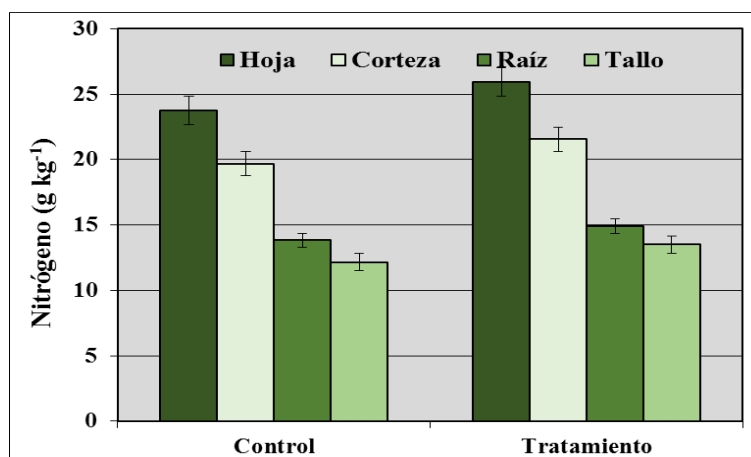
En la Figura 4.35 se muestran las concentraciones de fósforo en hojas, raíz, tallo y corteza del fruto, cuyo rango normal en hojas oscila entre 2-8 g kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en la corteza de los frutos, estando en niveles normales en hojas en ambos tratamientos, con su máximo (2,5-3 g kg⁻¹). Además, el patrón de distribución en ambos tratamientos es semejante, donde se

produce translocación a los órganos aéreos de la planta, especialmente a los frutos, proceso que se sucede con mayor intensidad en las parcelas tratadas, lo cual indicaría una mayor absorción de este elemento por la planta favorecido por la aplicación del fitofortificante.



Figuras 4.35. Concentraciones de fósforo en la planta de melón (hoja, raíz, tallo y corteza de fruto)

En la Figura 4.36 se muestran las concentraciones de nitrógeno en hojas, raíz, tallo y corteza del fruto, cuyo rango normal en hojas oscila entre 20-60 g kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, entando en niveles normales en ambos tratamientos (entre 20-25 g kg⁻¹), indicando que la nutrición del cultivo para este elemento es adecuada. Destacar que el patrón de distribución es semejante al del fósforo, donde se produce translocación a los órganos aéreos de la planta, pero en este caso en mayor proporción a las hojas, proceso que se sucede con mayor intensidad en las parcelas tratadas, lo cual indicaría una mayor absorción de este elemento por la planta favorecido por la aplicación del fitofortificante.



Figuras 4.36. Concentraciones de nitrógeno en la planta de melón (hoja, raíz, tallo y corteza de fruto)

Calidad y producción

En lo referente a la calidad de los frutos recolectados, a continuación se presentan los parámetros evaluados (peso, diámetro axial y ecuatorial, forma, grosor de corteza, grosor de pulpa, dureza de pulpa y °brix) para cada uno de los tratamientos.

En la Figura 4.37 se presentan los pesos medios de los frutos recolectados para cada uno de los tratamientos. Como se puede observar el peso medio es superior en las parcelas tratadas que en las control, superando los 750 g. Por su parte, en las parcelas control los pesos medios son ligeramente superiores a 600 g.

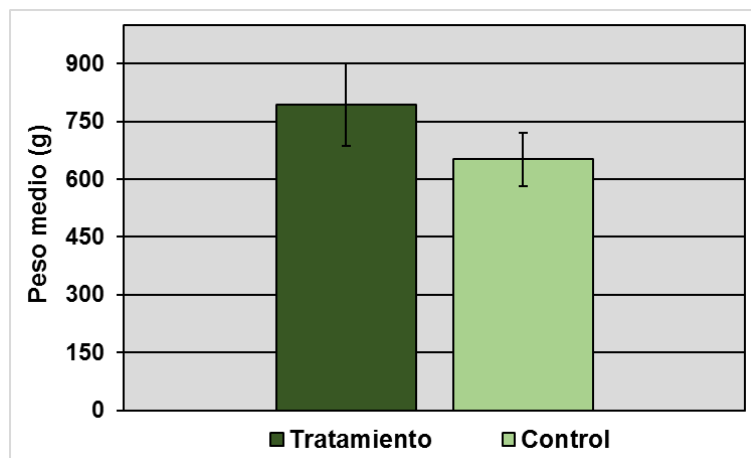
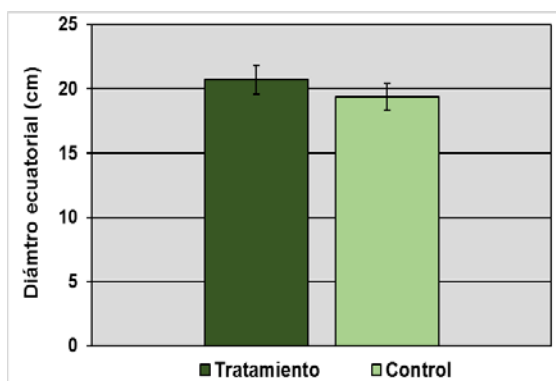
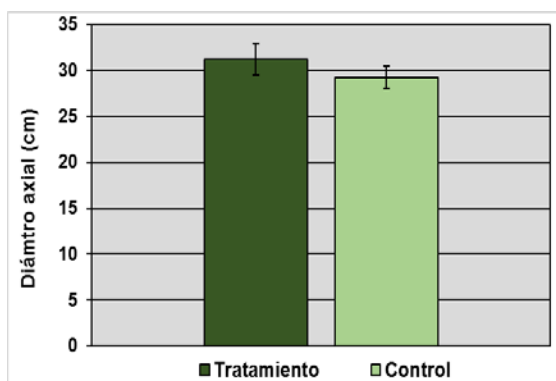


Figura 4.37. Peso de los frutos recolectados en las parcelas experimentales

Referente al tamaño, determinado por la medida de los diámetros axial y ecuatorial, en las Figuras 4.38 y 4.39 se puede ver como los frutos recolectados en las parcelas tratadas son ligeramente más grandes que en las control, tanto en su diámetro axial como ecuatorial.



Figuras 4.38 y 4.39. Diámetro axial y ecuatorial de los frutos recolectados en las parcelas experimentales

En cuanto a la forma de los frutos (Figura 4.40), ésta es semejante entre tratamientos, no observándose diferencias que puedan ser atribuidas a la aplicación del fitofortificante.

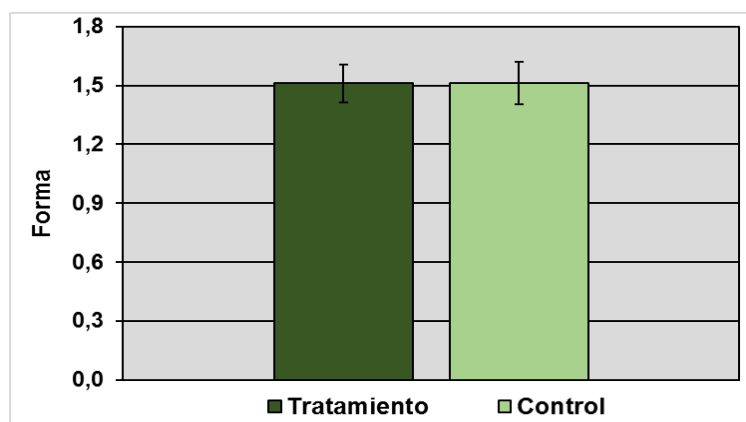
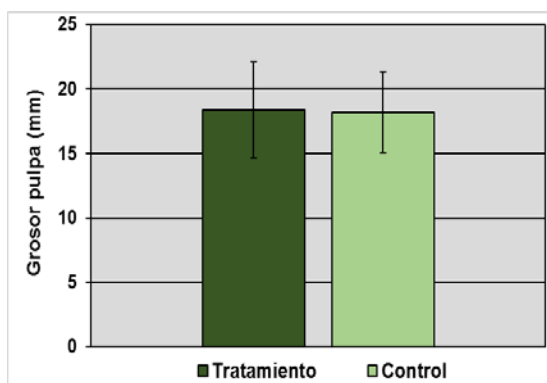
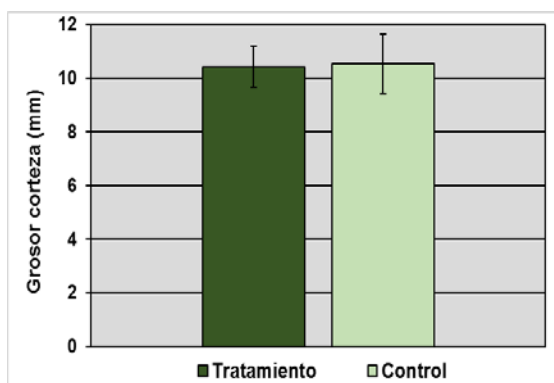


Figura 4.40. Forma ($F = \text{diam. axial/diam. ecuatorial}$) de los frutos recolectados en las parcelas experimentales

Referente al grosor de corteza y pulpa, en las Figuras 4.41 y 4.42 se puede ver como tanto los frutos recolectados en las parcelas control como en las tratadas con el fitofortificante presentan tamaños semejantes, no observándose diferencias entre tratamientos.



Figuras 4.41 y 4.42. Grosor de corteza y pulpa de los frutos recolectados en las parcelas experimentales

En la Figura 4.43 se puede ver como la dureza de los frutos recolectados en las parcelas control es superior a los recolectados en las tratadas con el fitofortificante, no obstante estos valores son elevados, debido al adelanto de la cosecha, lo cual indica que los frutos tratados estaban más maduros en el momento de la recolección y por lo tanto presentan cierta precocidad respecto a los recolectados en las parcelas control.

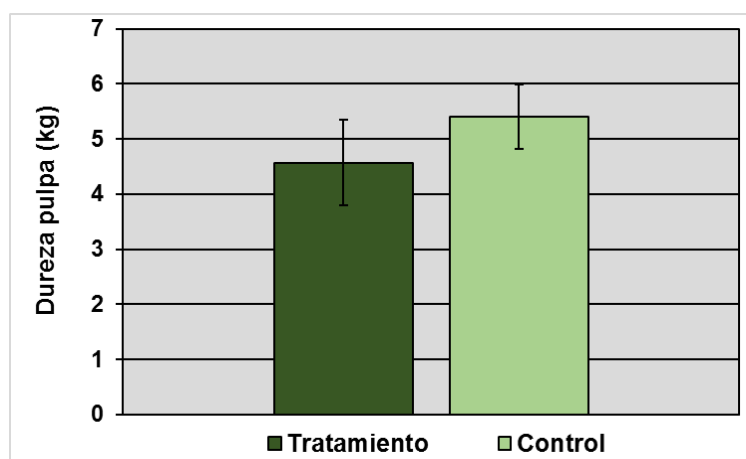


Figura 4.43. Dureza de la pulpa de los frutos recolectados en las parcelas experimentales

En la Figura 4.44 se puede ver que el contenido de azúcares es superior en las parcelas tratadas, estando próximo a 6 °Brix, mientras que en las parcelas control estaría cercano a 5,5 °Brix. Estos resultados apoyarían lo expuesto anteriormente en relación a la madurez de los frutos, donde en las parcelas tratadas los frutos están más próximos a su óptimo en el momento de la recolecta en relación a los muestreados en las parcelas control.

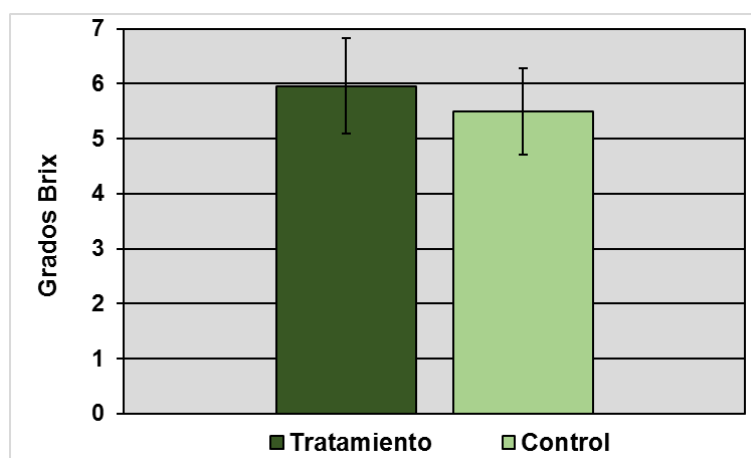
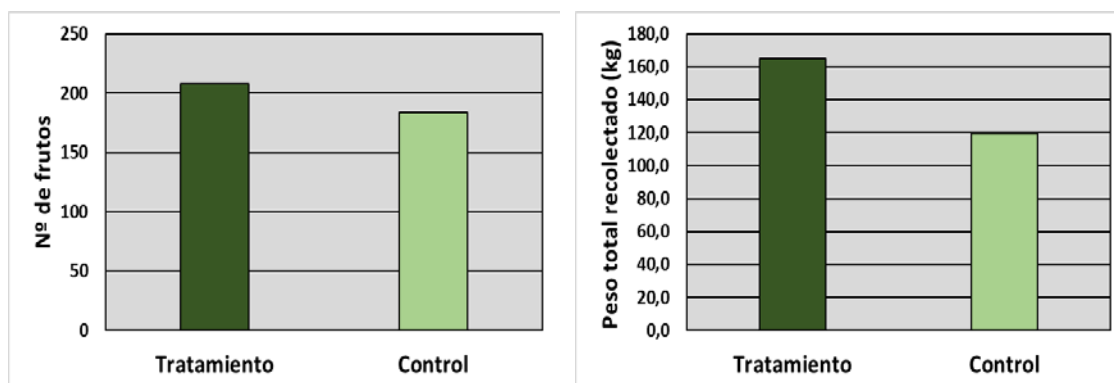


Figura 4.44. °Brix de la pulpa de los frutos recolectados en las parcelas experimentales

Finalmente, en las Figuras 4.45 y 4.46 se puede ver que el número de frutos recolectados (208 frutos) es superior en la parcela control (184 frutos) que en las tratadas con el fitofortificante, lo que equivale a 13866 y 12266 frutos ha^{-1} o lo que es lo mismo 1,4 y 1,2 frutos m^{-2} . Por lo tanto en cuanto al número de frutos se refiere el fitofortificante produce un mayor número de los mismos en las parcelas tratadas.



Figuras 4.46 y 4.47. Número de frutos y peso total recolectado en las parcelas experimentales

Por su parte, en lo referente a los kilogramos totales recolectados en cada tratamiento (Figura 4.47), se puede decir que los kg recolectados en las parcelas tratadas son superiores (164 kg) a los recolectados en las parcelas control (120 kg), lo que equivale a 11 t ha^{-1} , 8 t ha^{-1} , respectivamente por lo que el tratamiento con el fitofortificante incrementa la producción en 3 t ha^{-1} .

Cultivo de maíz

Propiedades físico-químicas del suelo

Acidez del suelo (pH)

En la Figura 3.48 se presentan los valores de pH tanto antes como al finalizar el cultivo del maíz (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede observar el pH al inicio del ensayo el pH es moderadamente alcalino con valores cercanos a 7,8 (Porta *et al.*, 1999); lo cual se debe al alto contenido en carbonatos como se verá posteriormente. Observándose un incremento en las muestras tomadas al final del cultivo, siendo este ligeramente mayor en las parcelas tratadas.

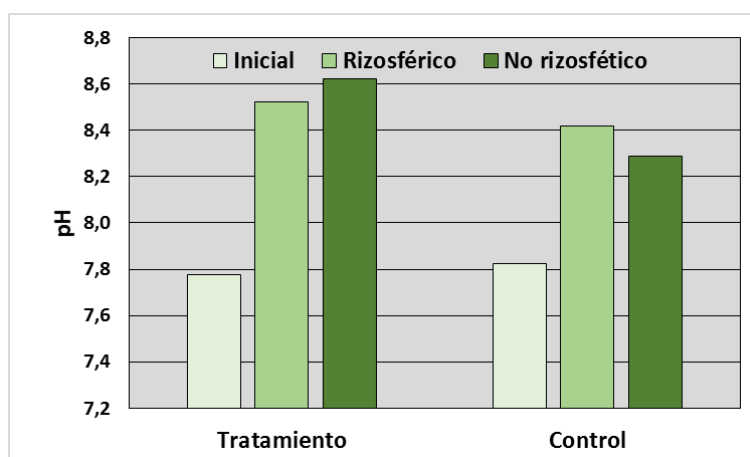


Figura 4.48. pH en las parcelas experimentales

Salinidad (conductividad eléctrica)

En la Figura 4.49 se presentan los valores de conductividad eléctrica tanto antes como al finalizar el cultivo del maíz (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Antes del cultivo, la salinidad de las parcelas estudiadas era no salina con valores cercanos a 1,5-1,6 dS cm⁻¹, por lo que la zona no tiene problemas de salinidad, no esperándose ninguna reducción en la productividad por esta causa.

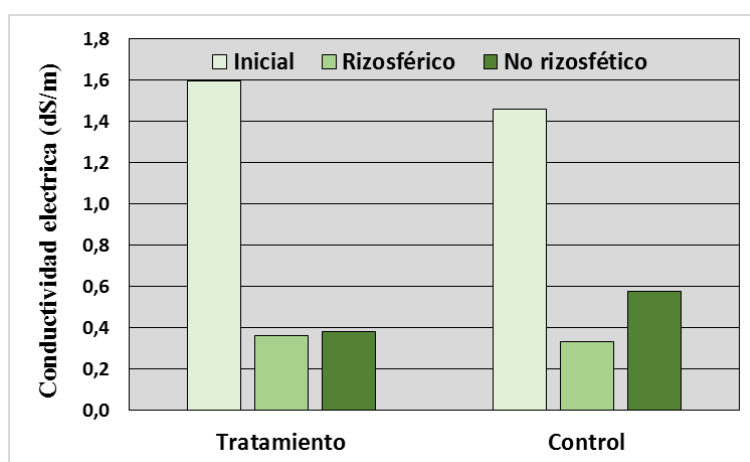
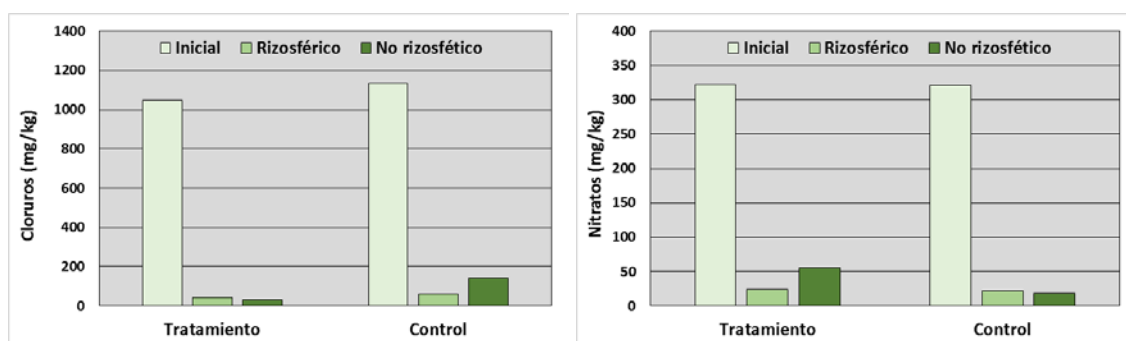


Figura 4.49. Conductividad eléctrica en las parcelas experimentales

Sin embargo, se puede observar que tanto en las parcelas tratadas como las control la salinidad disminuye considerablemente, pasando a valores cercanos a 0,4-0,6 dS cm⁻¹, siendo ligeramente superior en la zona no rizosférica, evidenciando el proceso de lavado de sales tras los sucesivos riegos llevados a cabo.

Aniones solubles

Como se puede apreciar en la Figura 4.50, antes del cultivo las concentraciones de todos los aniones son semejantes en las parcelas control y en las parcelas tratadas, a excepción de los sulfatos que son ligeramente superiores en las tratadas.



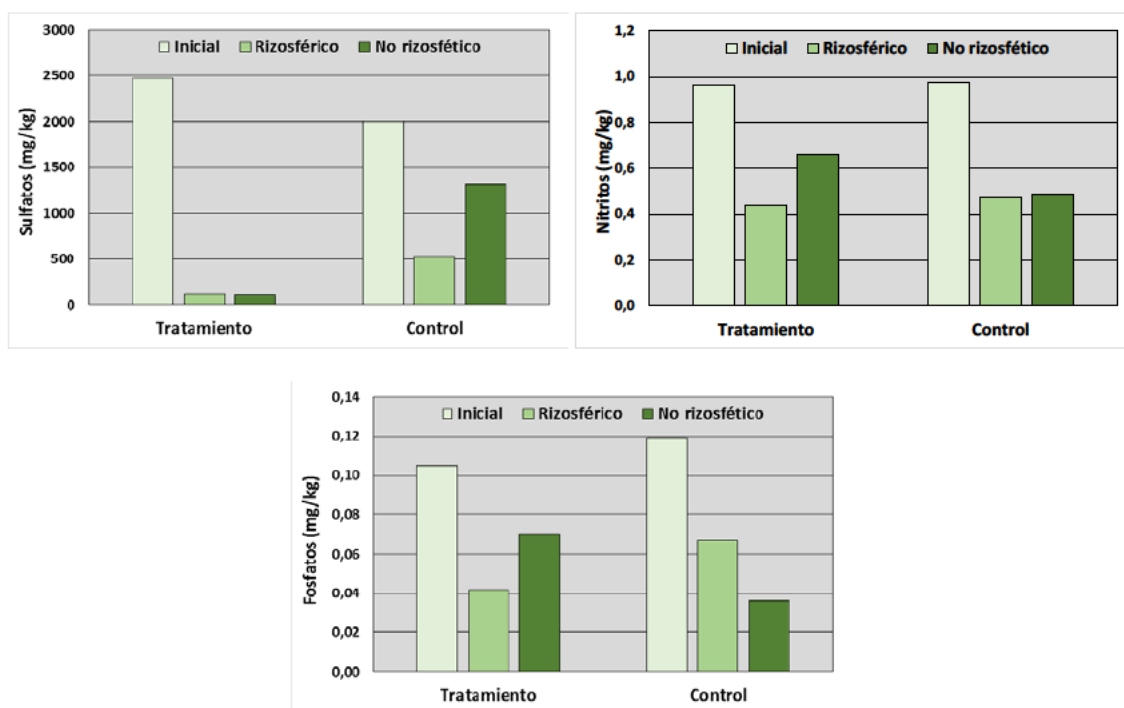


Figura 4.50. Aniones solubles en las parcelas experimentales

Una vez transcurrido el cultivo, se produce una disminución de todos los aniones tanto en la rizosfera como en el suelo no rizosférico de las parcelas de ambos tratamientos. En el caso de los nitritos, nitratos y fosfatos esta disminución es más significativa en los suelos rizosféricos que en los no rizosféricos en las parcelas tratadas, indicando que las bacterias podrían haber estado liberando estos nutrientes en formas solubles, los cuales han sido o bien tomados por la planta o lavados con los riegos.

Por el contrario, cloruros y sulfatos disminuyen de forma semejante tanto en la rizosfera como en los suelos no rizosféricos de las parcelas tratadas, indicando que el proceso de lixiviación durante la aplicación de agua de riego es el principal responsable de dicha disminución, no afectando en este caso las bacterias.

Cationes solubles

En el caso de los cationes solubles todos ellos presentaron valores semejantes antes del cultivo en ambos tratamientos (Figura 4.51). Por el contrario, y siguiendo con el mismo patrón encontrado con los aniones, las concentraciones de todos ellos disminuyeron tanto en la rizosfera como en el suelo no rizosférico de ambos tratamientos, siendo esta disminución más acusada en las parcelas control.

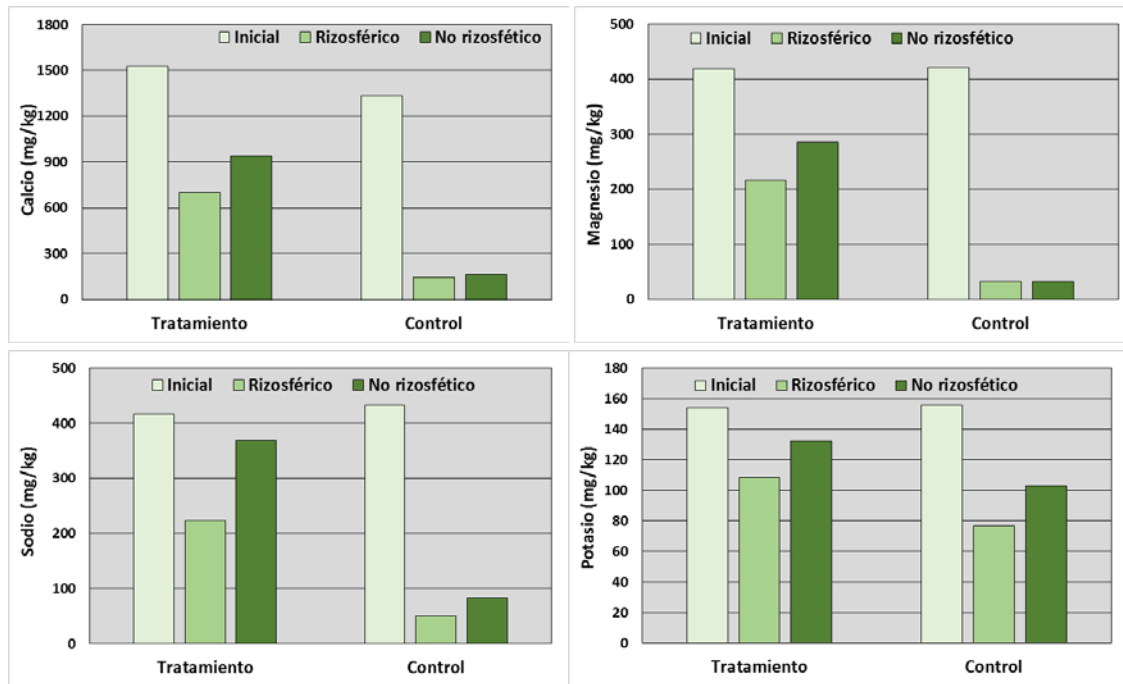


Figura 4.51. Cationes solubles en las parcelas experimentales

Las concentraciones de todos los cationes fue menor en el suelo rizosférico de las parcelas tratadas, lo que podría estar indicando una mayor absorción de estos nutrientes por la planta o bien un lavado de los mismos con mayor intensidad que en la zona no rizosférica.

Carbono inorgánico (carbonatos)

En la Figura 4.52 se presentan los contenidos de carbonatos tanto antes como al finalizar el cultivo del maíz (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede observar el contenido en carbonatos es elevado en todas las parcelas (Urbano, 2001), superior al 55%, no observándose ninguna variación significativa entre tratamientos. La presencia de estos valores tan elevados puede causar una deficiencia en la absorción de hierro, manganeso y fósforo por el cultivo en los suelos de estudio.

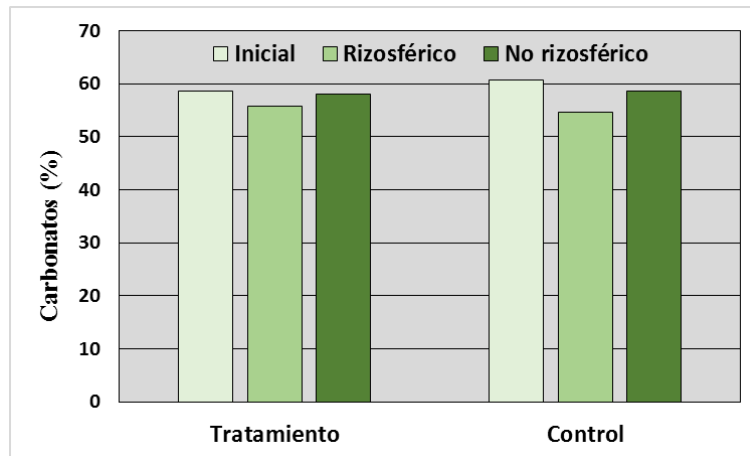


Figura 4.52. Carbonatos en las parcelas experimentales

Granulometría

En la Figura 4.53 se presentan los porcentajes de arcilla, limo y arena tanto antes como al finalizar el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede ver el suelo de las parcelas de estudio está equilibrado, con porcentajes de arcilla del 30-35 %, limo del 20-25 %, y de arena del 40-50 %, por lo que se podrían catalogar entre suelos franco arcillosos y franco arcillo limosos (FAO, 2006). No existiendo diferencias entre antes y después del cultivo en suelo rizosférico y no rizosférico, ni entre tratamientos.

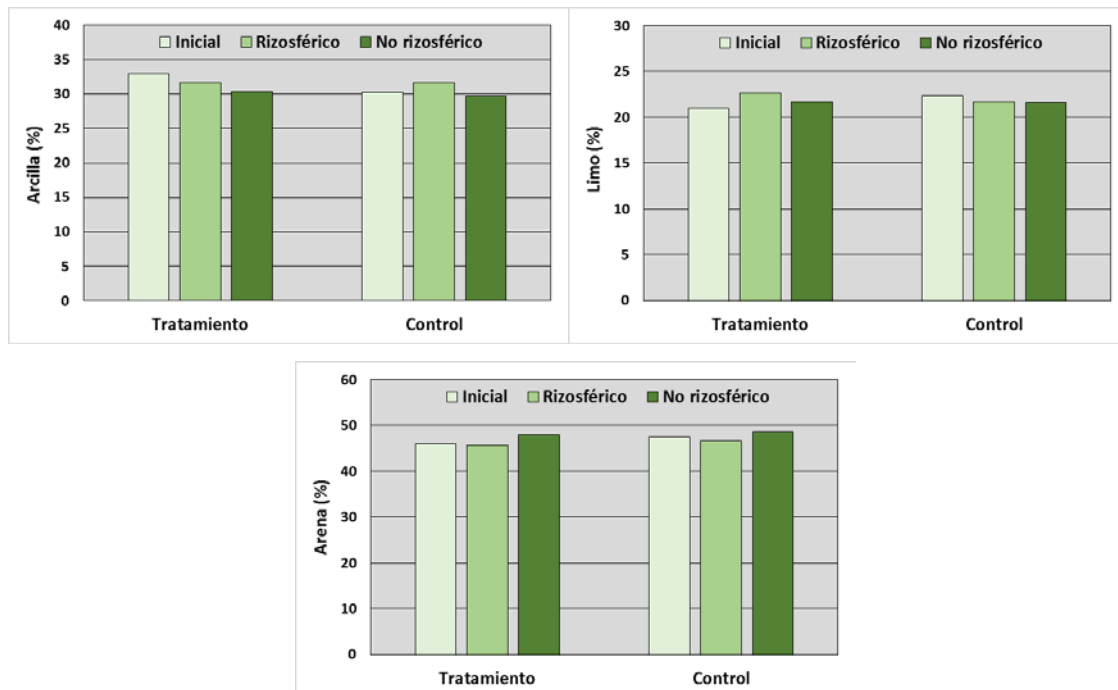


Figura 4.53. Arcilla, limo y arena en las parcelas experimentales

Carbono orgánico

En la Figura 4.54 se presentan los valores de carbono orgánico tanto antes como al finalizar el cultivo del maíz (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. En todas ambos tratamientos antes del cultivo los niveles de carbono orgánico se encuentran cercanos al 0,7 % lo que equivale a un nivel de materia orgánica de 1,2 %, lo que se clasifica como un nivel bajo de MO (Porta *et al.*, 1999). Transcurrido el cultivo, se produce un aumento en la rizosfera de ambos tratamientos mientras que en el suelo no rizosférico se mantiene constante, no observándose diferencias entre tratamientos, lo que indica que los incrementos observados son debidos a la segregación de compuestos orgánicos por las raíces y no por el efecto de las bacterias.

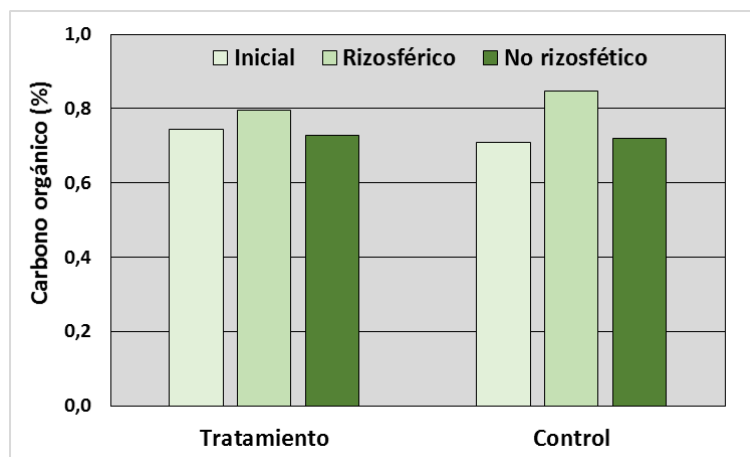


Figura 4.54. Carbono orgánico en las parcelas experimentales

Relación C/N

En la Figura 5.55 se presentan los valores de la relación C/N tanto antes como al finalizar el cultivo del maíz (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Antes de realizar el cultivo, los valores de la relación C/N se encuentran entre 12-14 en ambos tratamientos, lo que son catalogados como valores altos, con una liberación de nitrógeno escasa. Trascurrido el cultivo, se produce una disminución de la relación C/N en los suelos no rizosféricos (valores cercanos a 11), lo cual es debido al aumento de nitrógeno total, provocando una mayor liberación de nitrógeno. Por el contrario, debido tanto al ligero aumento del carbono orgánico como a la disminución del nitrógeno en la rizosfera de las parcelas tratadas se produce un aumento de la relación C/N, indicando una menor liberación de N, aspecto que no se observa en la rizosfera de las parcelas control cuyo ratio se mantiene invariante.

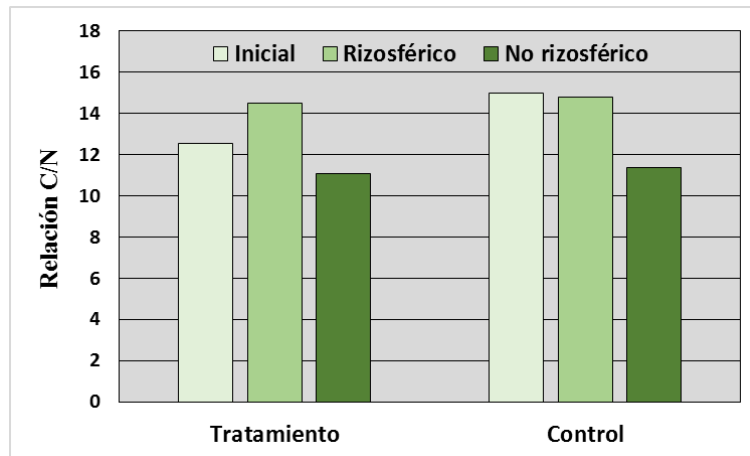


Figura 4.55. Relación C/N en las parcelas experimentales

Nitrógeno total

En la Figura 4.56 se presentan los valores de nitrógeno durante el cultivo del maíz (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Antes de realizar el cultivo, los niveles de nitrógeno total se encuentran entorno al 0,5-0,6 g kg⁻¹ lo que se puede considerar un valor bajo en suelos agrícolas (Urbano, 2001).

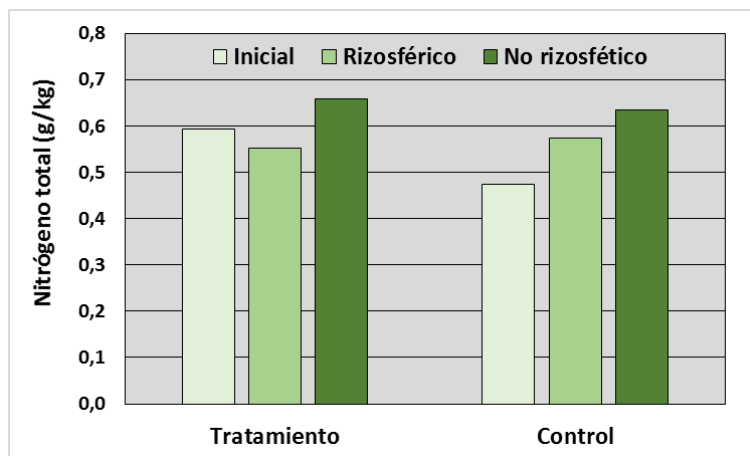


Figura 4.56. Nitrógeno total en las parcelas experimentales

Como se puede apreciar, tanto en las parcelas control como en las tratadas con el fitofortificante se produce un aumento en la concentración de nitrógeno en el suelo no rizosférico. Sin embargo, en el suelo rizosférico de las parcelas tratadas se produce una disminución con respecto al control, lo que podría indicar un mayor consumo de nitrógeno por parte de la planta, promovido por una mayor liberación de este elemento en el suelo.

Fósforo total

En la Figura 4.57 se presentan los valores de fósforo total durante el cultivo del maíz (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Antes de realizar el cultivo, los niveles de fósforo total se encuentran próximos a 40 mg kg⁻¹ para ambos tratamientos. Sin embargo, tanto en el suelo no rizosférico como rizosférico de las parcelas control y tratadas con el fitofortificante se produce una disminución en la concentración de fósforo, siendo mucho acusado en el caso del suelo rizosférico de las parcelas tratadas, lo que podría indicar un mayor consumo de fósforo por parte de la planta, promovido por una mayor liberación de este elemento en el suelo por el efecto de las bacterias.

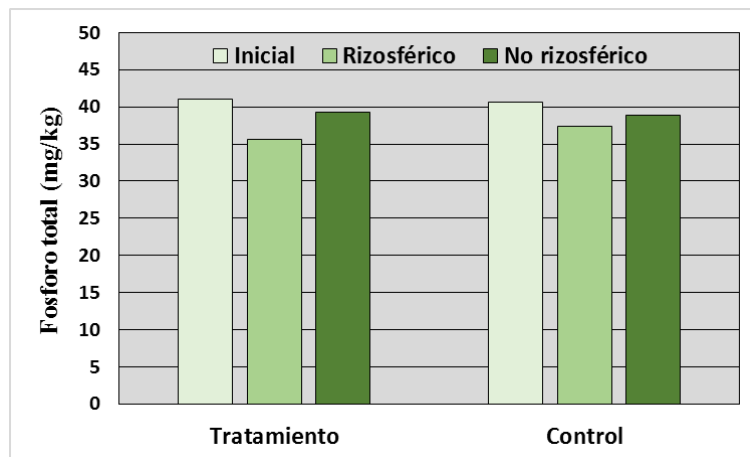


Figura 4.57. Fósforo total en las parcelas experimentales

Fósforo asimilable

En la Figura 4.58 se presentan los valores de fósforo asimilable durante el cultivo del maíz (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de fósforo asimilable antes del cultivo en todas las parcelas son adecuados (Porta *et al.*, 1999), ~25 mg kg⁻¹, por lo que no se esperan deficiencias nutricionales por causa de este elemento.

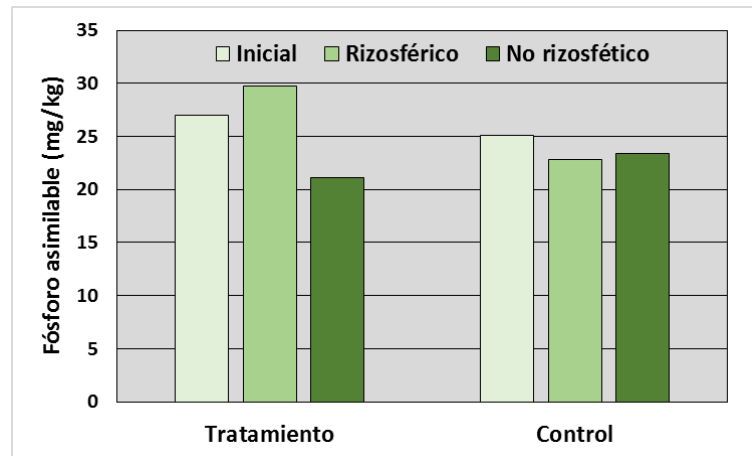


Figura 4.58. Fósforo asimilable en las parcelas experimentales

Como se puede apreciar, en el suelo no rizosférico de ambos tratamientos se produce una disminución de fósforo asimilable, por el contrario, en el suelo rizosférico de las parcelas tratadas esta concentración aumenta, lo cual puede ser debido a que los microorganismos están promoviendo la liberación de fósforo, incrementando su biodisponibilidad en el suelo.

Oligoelementos asimilables (Cu, Fe, Zn y Mn)

Cobre asimilable

En la Figura 4.59 se presentan los valores de cobre durante el cultivo del maíz (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de cobre asimilable antes del cultivo en ambos tratamientos son adecuados (Thiagalingam, 2000), estando en todos los casos por encima de 2 mg kg^{-1} , por lo que no se esperan deficiencias nutricionales por causa de este elemento.

Como se puede apreciar, en ambos tratamientos se produce una disminución de cobre asimilable tanto en los suelos rizosféricos como no rizosféricos, siendo la concentración ligeramente mayor en la rizosfera de ambos tratamientos, lo que parece indicar que es la misma actividad de las raíces, mediante la segregación de compuestos orgánicos de naturaleza ácida, la responsable de una mayor liberación de cobre.

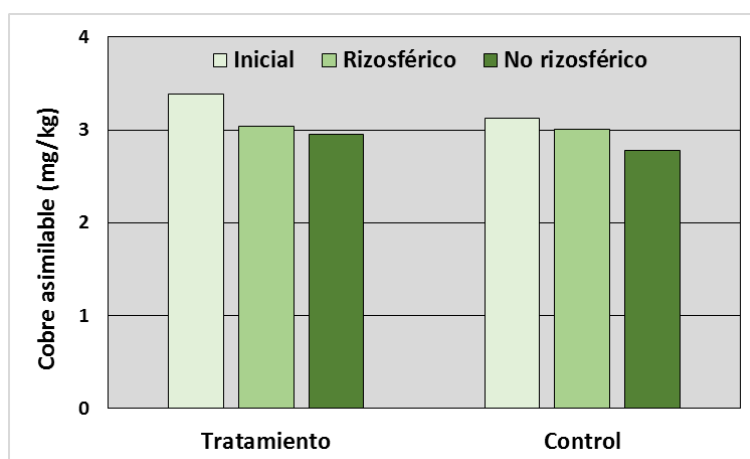


Figura 4.59. Cobre asimilable en las parcelas experimentales

Hierro asimilable

En la Figura 4.60 se presentan los valores de hierro asimilable durante el cultivo del maíz (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de hierro asimilable antes del cultivo en todas las parcelas son medios (Thiagalingam, 2000), estando en todos los casos próximos a 4 mg kg^{-1} , por lo que en principio no se esperan deficiencias nutricionales por causa de este elemento, a pesar del alto contenido en carbonatos y el alto pH de estos suelos.

Como se puede observar, el comportamiento del hierro asimilable es diferente entre tratamientos, en el caso de la parcelas control tanto en los suelos rizosféricos como no rizosférico se produce una disminución en las concentraciones de este elemento, siendo más acusado en el suelo no rizosférico, indicando que la segregación de ácidos orgánicos por parte de la planta produce una liberación de este elemento del suelo. Sin embargo, en las parcelas tratadas se produce un aumento en la concentración de hierro asimilable, particularmente en la rizosfera, lo que inducen a pensar que el fitofortificante favorece la liberación de este elemento en los suelos estudiados.

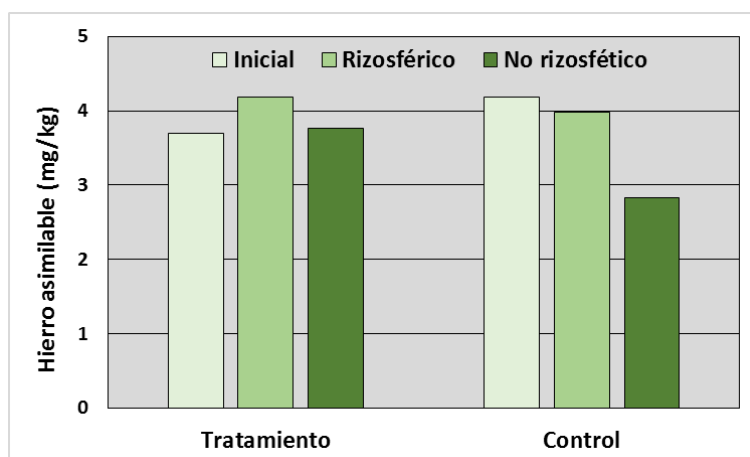


Figura 4.60. Hierro asimilable en las parcelas experimentales

Zinc asimilable

En la Figura 4.61 se presentan los valores de zinc asimilable durante el cultivo del maíz (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Las concentraciones de zinc asimilable antes de realizar el cultivo son elevados (Thiagalingam, 2000), superando en todas las parcelas los 6 mg kg⁻¹, por lo que no se espera que exista deficiencias nutricionales por este elemento durante el cultivo.

Como se puede observar, en la parcelas control se produce una ligera disminución en los suelos no rizosféricos, mientras que en los rizosféricos se mantiene constante, indicando que la segregación de ácidos orgánicos por parte de la planta induce a mantener estos niveles en el suelo. Sin embargo, en las parcelas tratadas se produce un aumento en la concentración de zinc asimilable en la rizosfera, lo que inducen a pensar que, junto con el efecto de las propias raíces, el fitofortificante favorece la liberación de este elemento en los suelos estudiados.

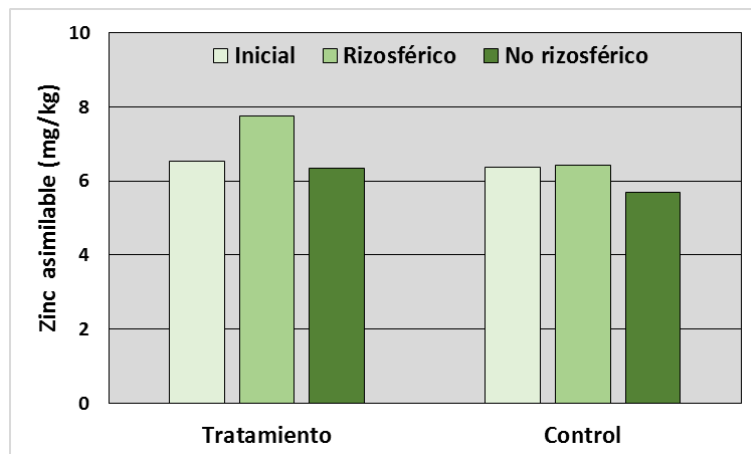


Figura 4.61. Zinc asimilable en las parcelas experimentales

Manganeso asimilable

En la Figura 4.62 se presentan los valores de manganeso asimilable durante el cultivo del maíz (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Los valores de manganeso asimilable antes del cultivo en todas las parcelas son adecuados (Thiagalingam, 2000), estando en todos los casos próximos a 8 mg kg⁻¹, por lo que no se esperan deficiencias nutricionales por causa de este elemento.

Como se puede apreciar, en ambos tratamientos se produce una disminución de manganeso asimilable tanto en los suelos rizosféricos como no rizosféricos, siendo la concentración ligeramente mayor en la rizosfera de ambos tratamientos, lo que parece

indicar que es la misma actividad de las raíces, mediante la segregación de compuestos orgánicos de naturaleza ácida, la responsable de una mayor liberación de este elemento.

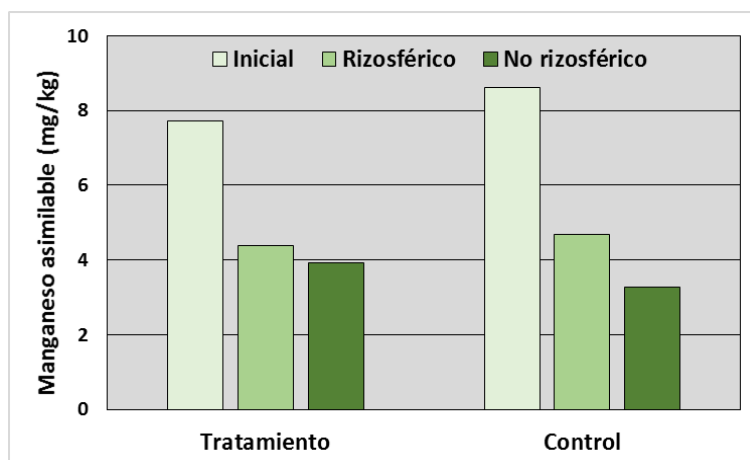


Figura 4.62. Manganeso asimilable en las parcelas experimentales

Propiedades microbiológicas/bioquímicas del suelo

Carbono de la biomasa microbiana

En la Figura 4.63 se presentan los valores de carbono de la biomasa microbiana durante el cultivo del maíz (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de CBM antes del cultivo son muy bajos, próximos a 15 mg kg^{-1} , indicando un bajo contenido de microorganismos en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

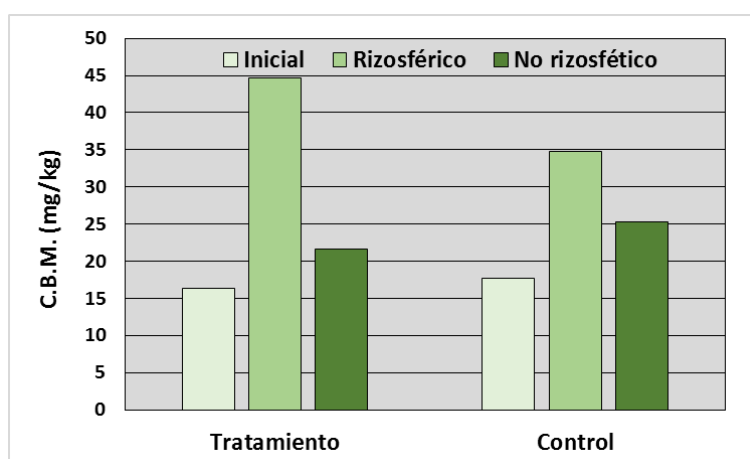


Figura 4.63. Carbono de la biomasa microbiana en las parcelas experimentales

Por el contrario, una vez aplicado el fitofortificante se produce un aumento muy significativo de los microorganismos, hasta alcanzar los 45 mg kg^{-1} en el suelo rizosférico, mientras que en la parcela control alcanza los 35 mg kg^{-1} . Del mismo modo,

en el suelo no rizosférico la cantidad de bacterias aumenta pero a niveles inferiores a los comentados anteriormente. Estos resultados indican que tanto la propia actividad radicular como las bacterias añadidas con el fitofortificante estimulan la multiplicación de los microorganismos, y cuyo efecto es sumativo.

Respiración

En la Figura 4.64 se presentan los valores de respiración basal durante el cultivo del melón (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de respiración antes del cultivo son bajos, con valores próximos a 1,2 mg C-CO₂ kg⁻¹h⁻¹, indicando una baja actividad microbiana en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

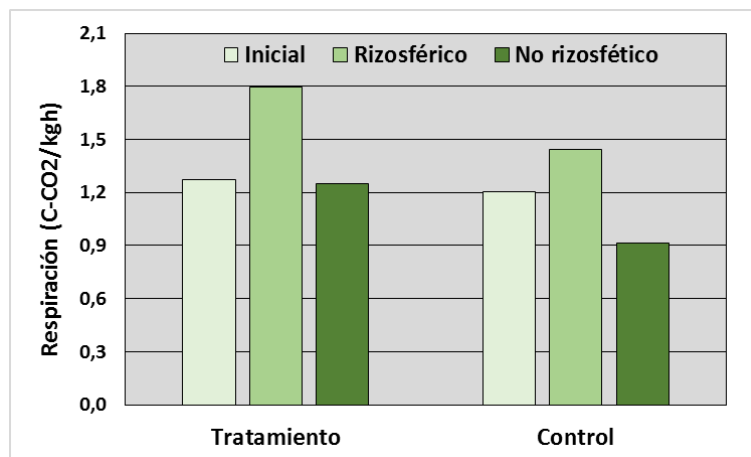


Figura 4.64. Respiración en las parcelas experimentales

Como se puede observar el patrón de comportamiento es semejante al encontrado anteriormente con el carbono de la biomasa microbiana, donde una vez aplicado el fitofortificante se produce un aumento muy significativo de la actividad de los microorganismos, hasta alcanzar los 1,8 mg C-CO₂ kg⁻¹h⁻¹ en el suelo rizosférico, mientras que en la parcela control alcanza los 1,4 mg C-CO₂ kg⁻¹h⁻¹. Por el contrario, en el suelo no rizosférico la actividad se mantiene constante e incluso disminuye en las parcelas control. Estos resultados indican que tanto la propia actividad radicular como las bacterias añadidas con el fitofortificante estimulan la actividad de los microorganismos.

Actividad fosfatasa

En la Figura 4.65 se presentan los valores de actividad fosfatasa durante el cultivo del maíz (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el

fitofortificante. Como se puede apreciar en la figura siguiente, los valores de actividad fosfatasa antes del cultivo en las parcelas de estudio de ambos tratamientos son bajos, $0,9 \mu\text{mol P-nitrofenol g}^{-1}\text{h}^{-1}$, indicando una baja actividad fosfatasa en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

Por su parte, al finalizar el cultivo, se observa un cierto aumento en dicha actividad en el suelo rizosférico, tal y como se aprecia tanto en las parcelas control como tratadas, siendo este superior en este último caso, debido al incremento de los microorganismos en las parcelas tratadas con el fitofortificante, lo cual favorece el incremento de la actividad fosfatasa, favoreciendo la liberación de fósforo asimilable para el cultivo. Por el contrario, en el suelo no rizosférico la actividad de esta enzima se mantiene constante, e incluso desciende en el suelo no rizosférico de las parcelas control.

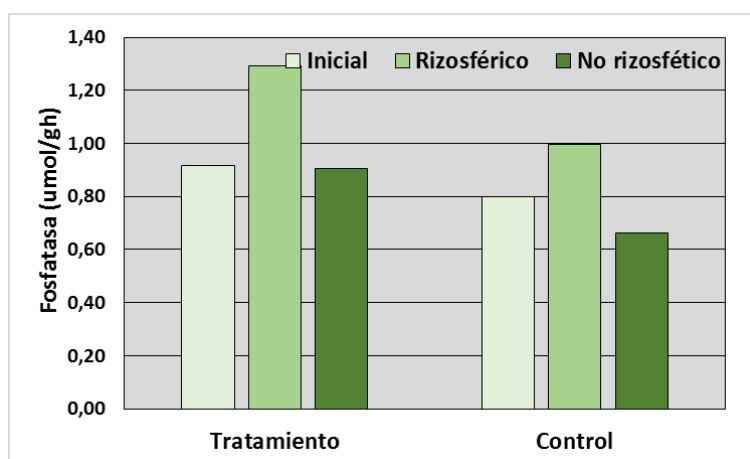


Figura 4.65. Actividad fosfatasa en las parcelas experimentales

Actividad fosfodiesterasa

En la Figura 4.66 se presentan los valores de actividad fosfodiesterasa durante el cultivo del maíz (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar en la figura siguiente, los valores de actividad fosfodiesterasa antes del cultivo en las parcelas de estudio de ambos tratamientos son bajos, $0,1-0,2 \mu\text{mol P-nitrofenol g}^{-1}\text{h}^{-1}$, indicando una baja actividad de estas enzimas en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

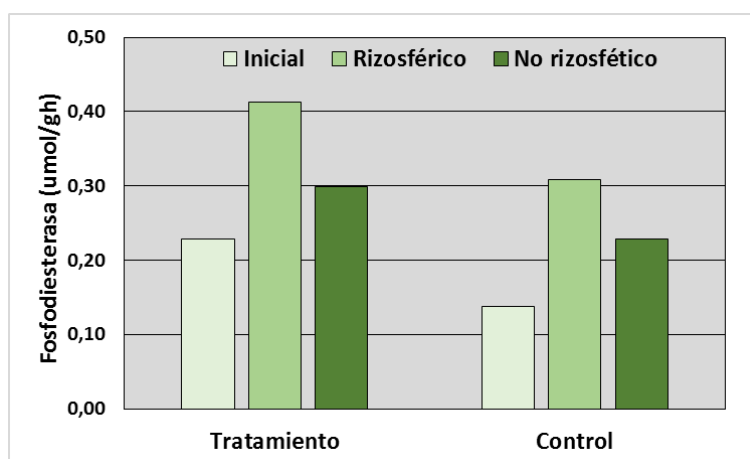


Figura 4.66. Actividad fosfodiesterasa en las parcelas experimentales

Sin embargo, tanto en el suelo rizosférico como no rizosférico de ambos tratamientos se produce un aumento en dicha actividad, siendo mucho mayor en el caso de las parcelas tratadas, lo que indica que las bacterias aportadas actúan sobre los compuestos orgánicos de fósforo liberando fosfatos que pueden ser absorbidos por la planta.

Actividad ureasa

En la Figura 4.67 se presentan los valores de actividad ureasa durante el cultivo del maíz (suelo rizosférico y no rizosférico) en las parcelas tratadas con el fitofortificante. Como se puede apreciar, los valores de actividad ureasa antes del cultivo en las parcelas estudiadas son muy bajos, cercanos a $0,06\text{-}0,1 \mu\text{mol NH}_4 \text{ g}^{-1}\text{h}^{-1}$, indicando una baja actividad ureasa en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.

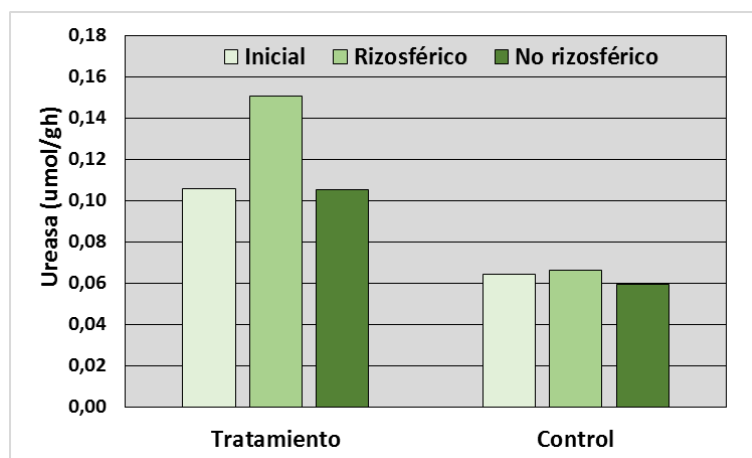


Figura 4.67. Actividad ureasa en las parcelas experimentales

Sin embargo, en el suelo rizosférico del tratamiento con el fitofortificante se produce un aumento en dicha actividad, actuando sobre los compuestos con enlaces C-N liberando nitrógeno que puede ser absorbido por la planta, no obstante los valores obtenidos siguen siendo bajos. En el caso del suelo no rizosférico y de las parcelas control la actividad de esta enzima se mantiene en los niveles iniciales.

Actividad proteasa

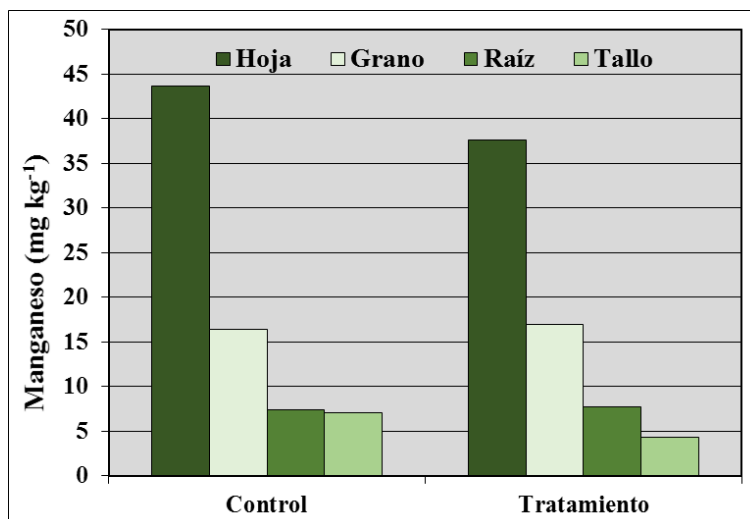
En este caso no se ha registrado actividad proteasa en las parcelas de estudio, ni en las tratadas con el fitofortificante ni en las control, lo cual puede ser debido al bajo contenido en nitrógeno y, por lo tanto, de compuestos nitrogenados, en estos suelos.

Balance nutricional

A continuación se presentan las concentraciones de nutrientes en el cultivo del melón, en hojas, raíz, tallo y corteza del fruto, en el momento de la recolección.

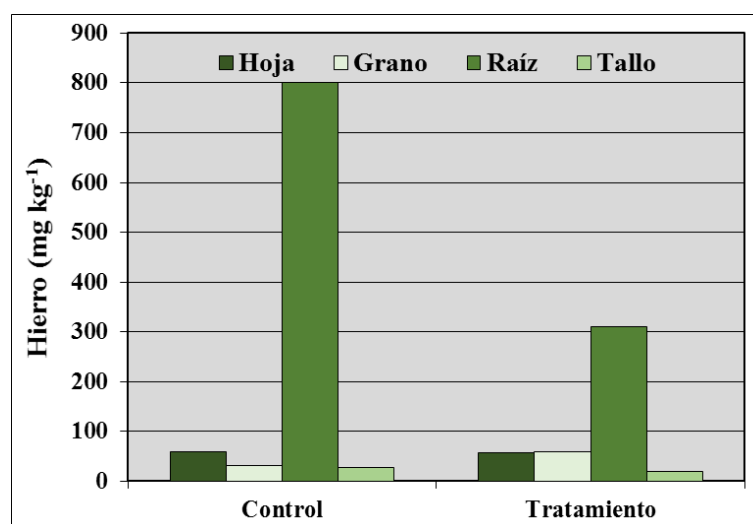
Micronutrientes

En la Figuras 4.68 se muestra las concentraciones de manganeso en hojas, raíz, tallo y grano, cuyo rango normal en hojas oscila entre 30-100 mg kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, estando en niveles ligeramente bajos en ambos tratamientos, 35-45 mg kg⁻¹, aunque se aprecian mayores acumulaciones en las parcelas control. Destacar que en el caso de raíz, tallo y grano las concentraciones de manganeso son muy semejantes entre los tratamientos. Estos resultados indican que se produce una mayor absorción de manganeso por parte de las plantas control.



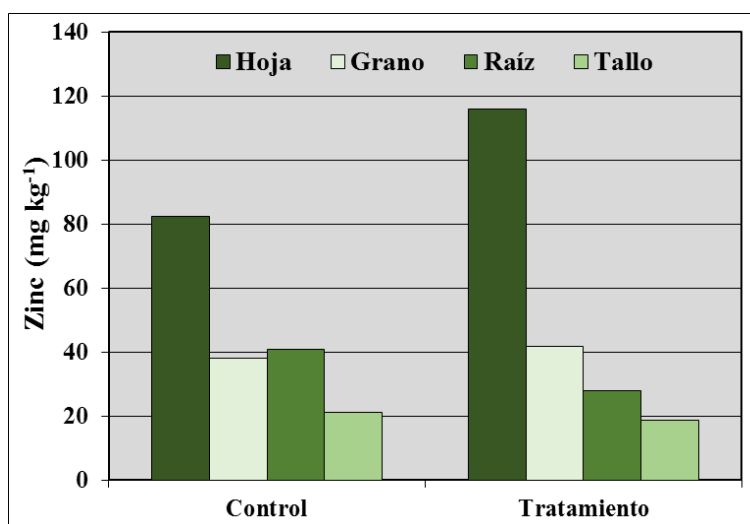
Figuras 4.68. Concentraciones de manganeso en la planta de maíz (hoja, raíz, tallo y grano)

En la Figura 4.69 se muestran las concentraciones de hierro en hojas, raíz, tallo y grano, cuyo rango normal en hojas oscila entre 50-250 mg kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en la raíz en ambos tratamientos, siendo superiores en el caso de las parcelas control. Por su parte, en las hojas los niveles son muy superiores a los normales en ambos tratamientos, alcanzando los 800 mg kg⁻¹ en las parcelas control y a los 300 mg kg⁻¹ en las tratadas, indicando que se ha producido un exceso en la absorción de hierro, no siendo necesaria la fertilización de este elemento, no produciéndose bloqueo del mismo debido tanto al alto porcentaje de carbonatos como al alto valor de pH de estos suelos. Por su parte, tanto en tallo como en grano las concentraciones de hierro son semejantes entre tratamientos. Estos resultados indican, al igual que para el manganeso, que se produce una mayor absorción de hierro por parte de las plantas control.



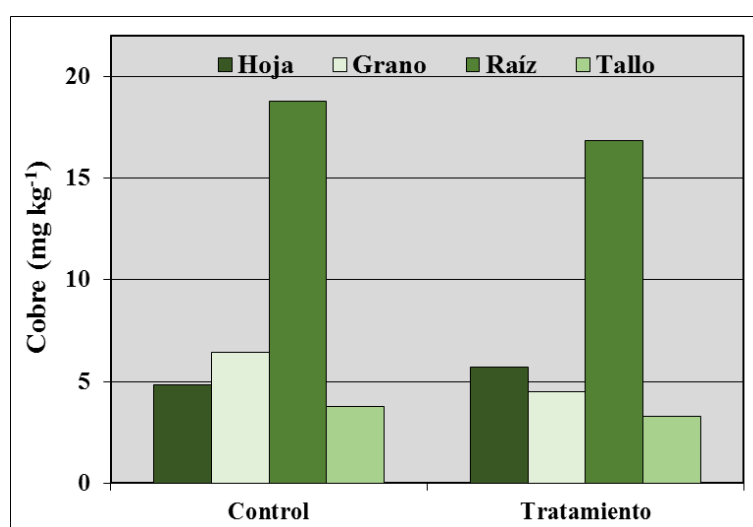
Figuras 4.69. Concentraciones de hierro en la planta de maíz (hoja, raíz, tallo y grano)

En la Figura 4.70 se muestran las concentraciones de zinc en hojas, raíz, tallo y grano, cuyo rango normal en hojas oscila entre 25-50 mg kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se observan en las hojas, siendo superiores para ambos tratamientos al rango normal, lo que indican que la translación de zinc se produce hacia las hojas siendo más significativo en el caso de las parcelas tratadas.



Figuras 4.70. Concentraciones de zinc en la planta de maíz (hoja, raíz, tallo y grano)

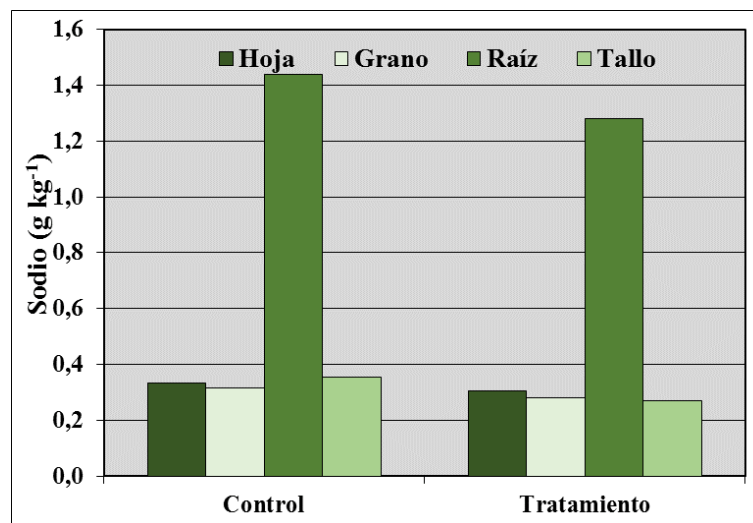
En la Figura 4.71 se muestran las concentraciones de cobre en hojas, raíz, tallo y grano, cuyo rango normal en hojas oscila entre 6-20 mg kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en la raíz en ambos tratamientos, siendo ligeramente superiores en el caso de las parcelas control. Por su parte, en las hojas los niveles están cercanos al rango de niveles normales en ambos tratamientos, sin grandes diferencias entre los mismos. De igual modo, tanto en tallo como en el grano las concentraciones de cobre son semejantes entre tratamientos. Estos resultados indican, que la absorción de cobre por parte de las plantas control es ligeramente superior y este no se transloca hacia los órganos aéreos.



Figuras 4.72. Concentraciones de cobre en la planta de maíz (hoja, raíz, tallo y grano)

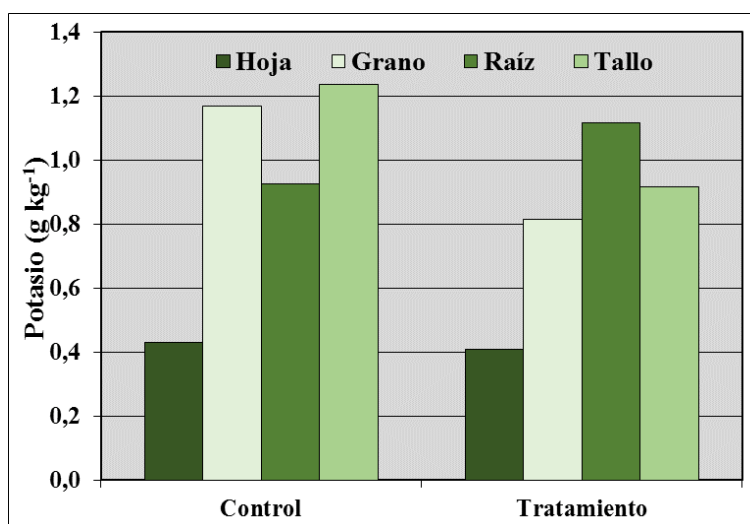
Macronutrientes

En la Figura 4.73 se muestran las concentraciones de sodio en hojas, raíz, tallo y grano, cuyo rango normal en hojas oscila entre 0,1-0,3 g kg⁻¹. Como se puede apreciar, las mayores concentraciones se encuentran en la raíz, mientras que en granos, tallo y hojas las concentraciones son muy inferiores, indicando una escasa translocación de este elemento en la planta, lo cual sucede de forma semejante en ambos tratamientos. En ambos tratamientos los niveles en hoja se encuentran dentro del rango normal, por lo que no se espera deficiencias ni toxicidad en la planta.



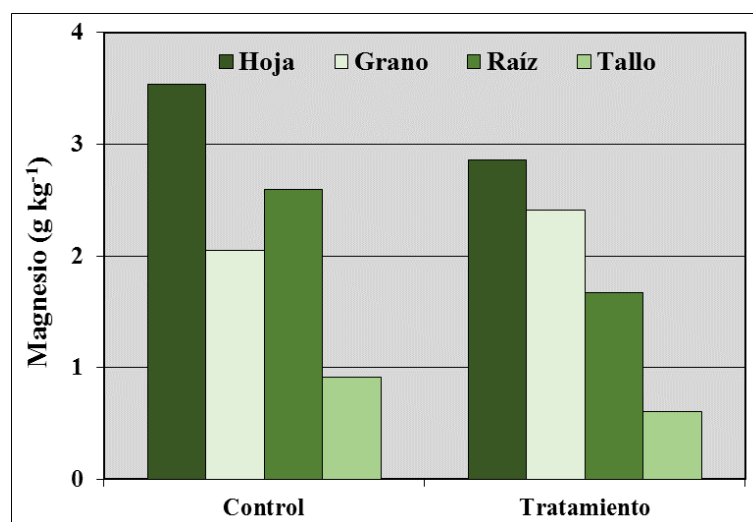
Figuras 4.73. Concentraciones de sodio en la planta de maíz (hoja, raíz, tallo y grano)

En la Figura 4.74 se muestran las concentraciones de potasio en hojas, raíz, tallo y grano, cuyo rango normal en hojas oscila entre 18-30 g kg⁻¹. Como se puede ver, las concentraciones en hojas son muy inferiores a las normales, estando en niveles deficitarios en ambos tratamientos. Como se puede observar, se produce una mayor acumulación en el tallo en las parcelas control, mientras que este es mayor en raíz en las tratadas, siendo semejantes en hojas. Estos resultados indican, que en las parcelas control se produce una mayor translocación de potasio hacia tallo y grano, mientras que en las tratadas se acumula en mayor media en la raíz.



Figuras 4.74. Concentraciones de potasio en la planta de maíz (hoja, raíz, tallo y grano)

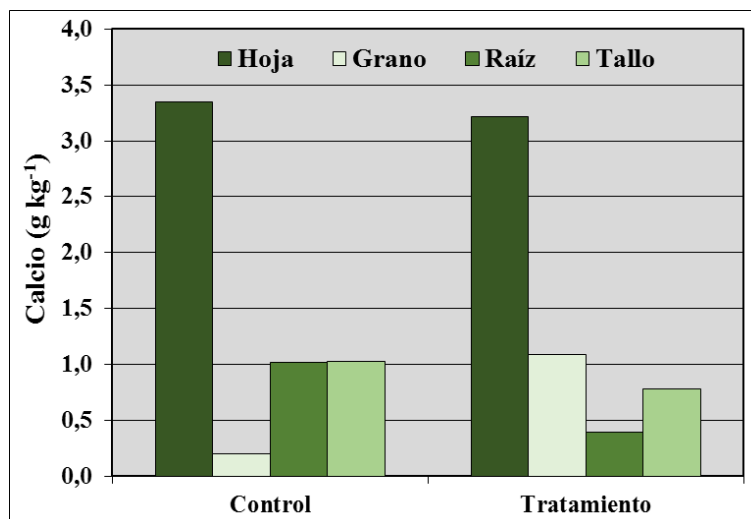
En la Figura 4.75 se muestran las concentraciones de magnesio en hojas, raíz, tallo y grano, cuyo rango normal en hojas oscila entre 2-5 g kg⁻¹. Como se puede apreciar, las mayores concentraciones se encuentran en la hoja, mientras que las más bajas se dan en el tallo, siendo intermedias en raíz y grano, comportándose de forma semejante en ambos tratamientos. En ambos tratamientos los niveles en hoja se encuentran dentro del rango normal, por lo que no se espera deficiencias en la planta. No obstante, se observa una ligera mayor translocación y acumulación de este elemento hacia los granos en las parcelas tratadas.



Figuras 4.75. Concentraciones de magnesio en la planta de maíz (hoja, raíz, tallo y grano)

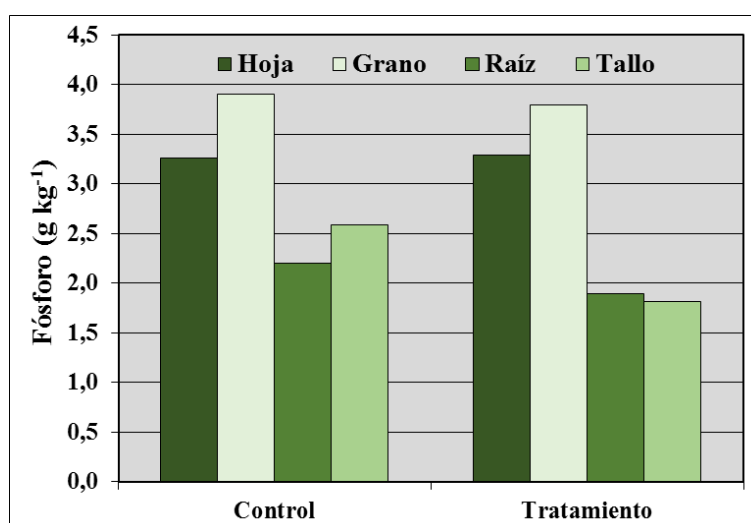
En la Figura 4.76 se muestran las concentraciones de calcio en hojas, raíz, tallo y grano, cuyo rango normal en hojas oscila entre 3-7 g kg⁻¹. Como se puede ver, las

mayores concentraciones se encuentran en las hojas, estando en niveles normales en ambos tratamientos, indicando una adecuada nutrición del cultivo para este elemento. Destacar que en las parcelas tratadas se produce una mayor translocación al grano, mientras que en las control lo hace por igual entre tallo y raíz.



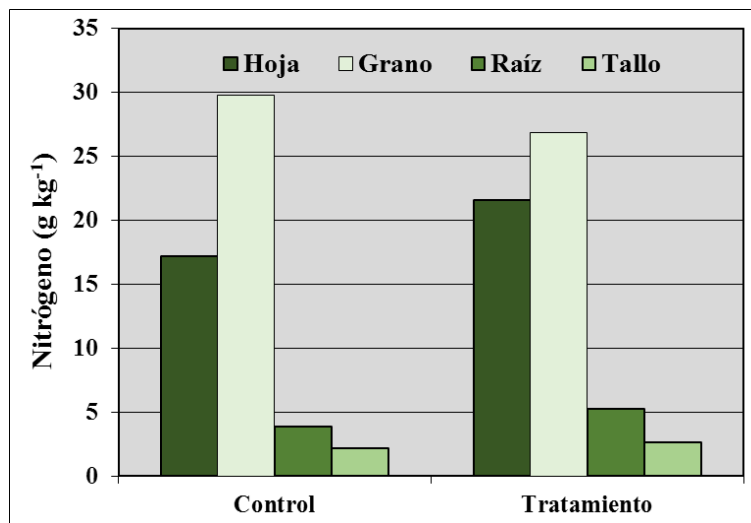
Figuras 4.76. Concentraciones de calcio en la planta de maíz (hoja, raíz, tallo y grano)

En la Figura 4.77 se muestran las concentraciones de fósforo en hojas, raíz, tallo y grano, cuyo rango normal en hojas oscila entre 2,5-4 g kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en el grano, estando en niveles normales en hojas en ambos tratamientos. Además, el patrón de distribución en ambos tratamientos es semejante, donde se produce translocación a los órganos aéreos de la planta, especialmente a los granos, por lo que el fortificante no induce una mayor acumulación de este elemento por las plantas.



Figuras 4.77. Concentraciones de fósforo en la planta de maíz (hoja, raíz, tallo y grano)

En la Figura 4.78 se muestran las concentraciones de nitrógeno en hojas, raíz, tallo y grano, cuyo rango normal en hojas oscila entre 28-35 g kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en el grano, mientras que en las hojas se encuentran en niveles algo bajos (entre 15-20 g kg⁻¹), indicando que la nutrición del cultivo para este elemento es un poco deficiente. Destacar que el patrón de distribución es semejante al del fósforo y entre tratamientos, donde se produce translocación a los órganos aéreos de la planta, por lo que el fortificante no induce una mayor acumulación de este elemento por las plantas.



Figuras 4.78. Concentraciones de nitrógeno en la planta de maíz (hoja, raíz, tallo y grano)

Calidad y producción

En lo referente a la calidad de las mazorcas recolectadas, a continuación se presentan los parámetros evaluados (peso, diámetro, longitud, número de líneas, número de granos por línea, peso de 10 granos, porcentaje de almidón y de proteína, y °brix) para cada uno de los tratamientos.

En la Figura 4.79 se presentan los pesos medios de las mazorcas recolectadas para cada uno de los tratamientos. Como se puede observar el peso medio es superior en las parcelas tratadas que en las control, alcanzando los 125 g en las parcelas tratadas, mientras que en las control se llega a los 105 g. Por lo que el fitofortificante ha incrementado en un 20% el peso de las mazorcas.

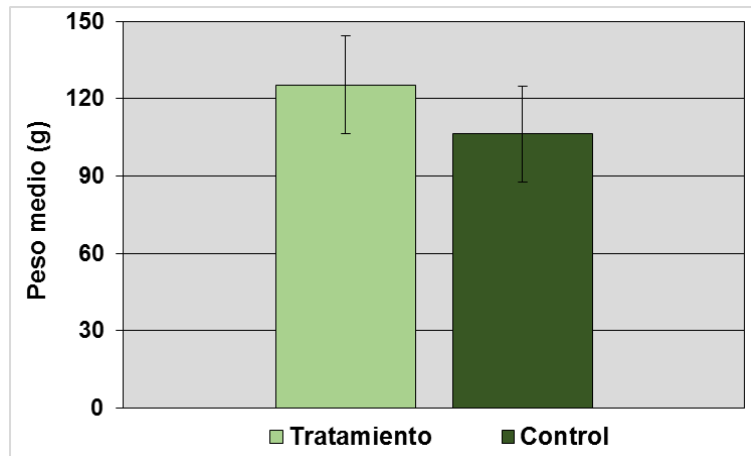
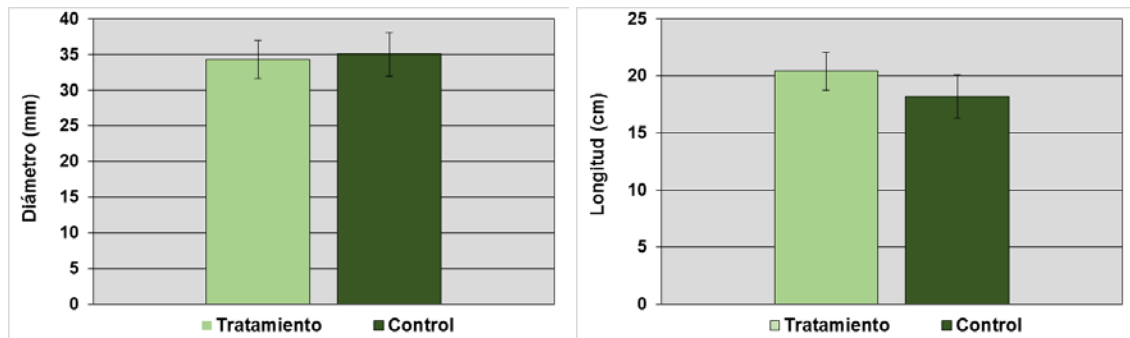


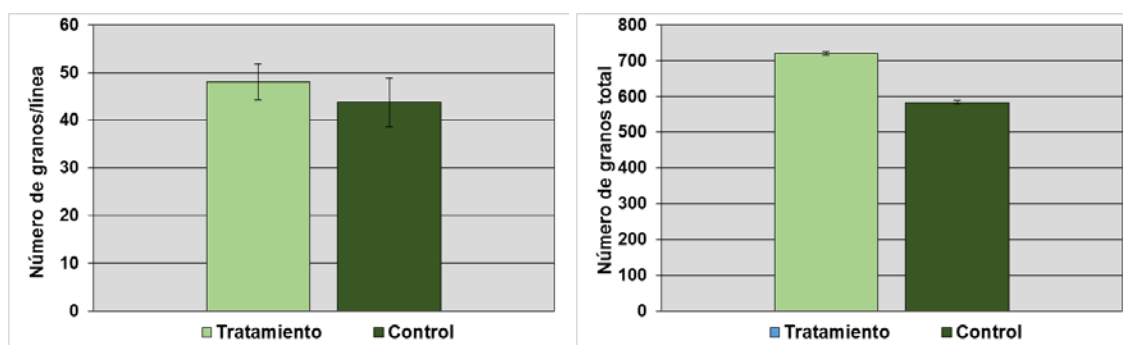
Figura 4.79. Peso de las mazorcas recolectadas en las parcelas experimentales

Referente al tamaño, determinado por la medida del diámetro y la longitud de las mazorcas, en las Figuras 4.80 y 7.81 se puede ver como las mazorcas recolectadas en las parcelas tratadas son prácticamente igual de gruesas que las control (34-35 mm) y ligeramente más largas (21 cm) que en las control (17 cm). Por lo que el fitofortificante incrementa la longitud en un 20%.



Figuras 4.80 y 4.81. Longitud y diámetro de las mazorcas recolectadas en las parcelas experimentales

Referente al número de granos por línea y número de granos total, en las Figuras 4.82 y 4.83 se puede ver como las mazorcas de las parcelas tratadas presentan un mayor número de granos por línea (48 granos) y en consecuencia un mayor número de granos totales (720 granos) que las mazorcas recolectadas en las parcelas control (44 y 582 granos respectivamente). Por lo que la aplicación del fitofortificante ha aumentado el número de granos en un 24%.



Figuras 4.81 y 4.83. Número de granos por línea y totales de las mazorcas recolectados en las parcelas experimentales

En la Figura 4.84 se puede ver como el peso de cada grano de las mazorcas recolectadas en las parcelas tratadas (0,17 g) con el fitofortificante es superior a las parcelas control (0,15 g), por lo que la aplicación del fitofortificante ha aumentado ligeramente la cantidad consumible de la mazorca.

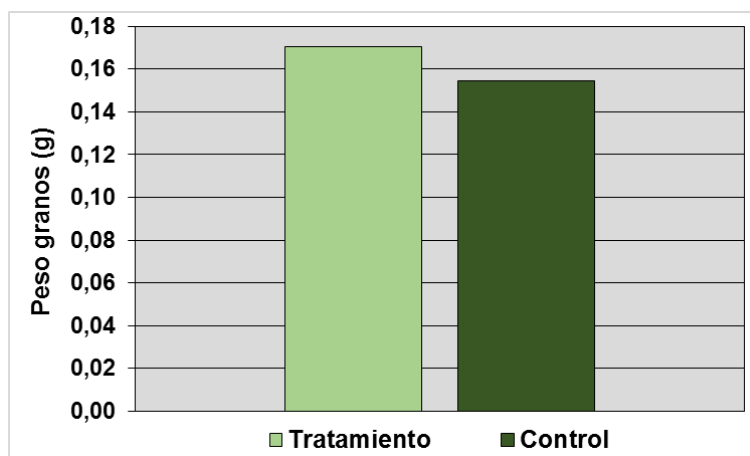


Figura 4.84. Peso del grano en las mazorcas recolectadas en las parcelas experimentales

En la Figura 4.85 se puede ver que el contenido de proteína es superior en las mazorcas que han sido recolectadas de las parcelas control (19%) que en las tratadas (17 %), lo cual se debe a la mayor concentración de nitrógeno translocado a los granos de las mismas en las parcelas control.

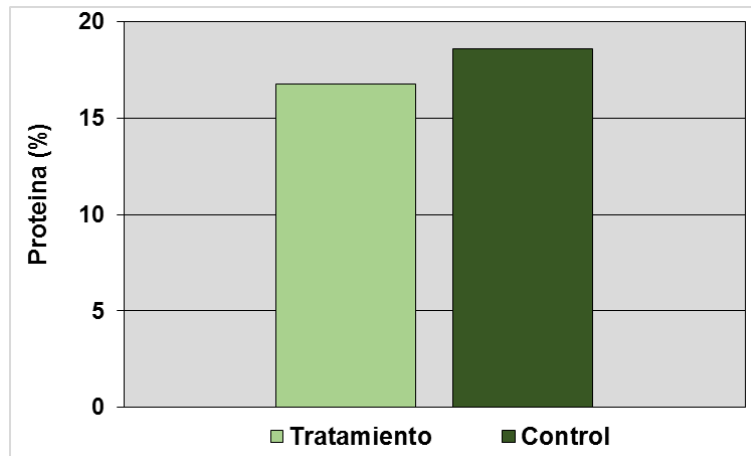
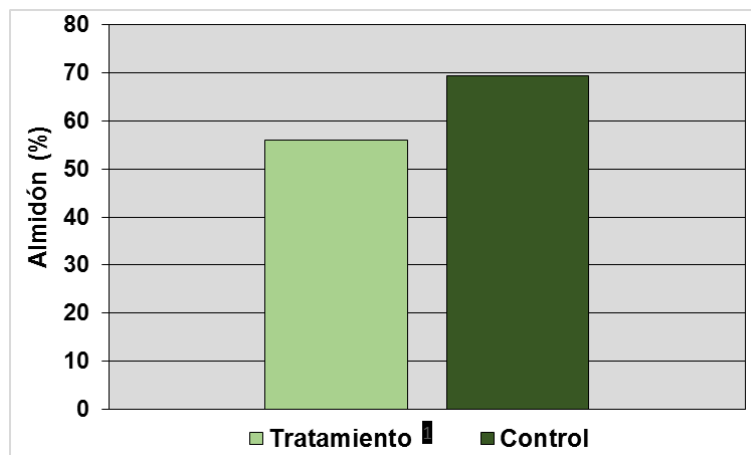


Figura 4.85. Porcentaje de proteína en los granos de las mazorcas recolectados en las parcelas experimentales

Finalmente, en la Figura 4.86 se puede ver que el porcentaje de almidón es superior en los granos de las mazorcas recolectas en las parcelas control, alcanzando valores de 70 %, mientras que en las parcelas tratadas fue del 55%.



Figuras 4.86. Porcentaje de almidón en los granos de las mazorcas recolectados en las parcelas experimentales

4.4. Conclusiones

Cultivo de melón

Propiedades físico-químicas del suelo

- El pH al inicio del ensayo el **pH** es moderadamente alcalino, lo cual se debe al alto contenido en carbonatos. Observándose un incremento en las muestras tomadas al final del cultivo, siendo este mayor en la rizosfera, y en las parcelas control.
- Antes del cultivo, la **salinidad** de las parcelas estudiadas es baja, no esperándose ninguna reducción en la productividad por esta causa. Los resultados indican

que en las parcelas control se ha producido un lavado de sales solubles durante el cultivo, mientras que en las parcelas tratadas, posiblemente la liberación de nutrientes por parte de las bacterias haya provocado la acumulación de dichas sales.

- Una vez transcurrido el cultivo, se produce un incremento de **sulfatos y nitritos** en la rizosfera en ambos tratamientos, aunque de una forma más significativa en las tratadas. Lo cual indica que las bacterias podrían estar liberando nutrientes en forma de sulfatos del suelo. Por el contrario, **cloruros y nitratos** disminuyen en la rizosfera de ambos tratamientos, lo cual es debido al proceso de lixiviación, no afectando en este caso las bacterias. Finalmente, los **fosfatos** se mantienen relativamente constantes durante el cultivo no observándose diferencias entre tratamientos, ni entre suelo rizosférico como no rizosférico.
- Las concentraciones de **calcio, magnesio y potasio** se incrementaron en la rizosfera de las parcelas tratadas, mientras que disminuyeron por el efecto de la lixiviación en las parcelas control y en el suelo no rizosférico de las parcelas tratadas. Por su parte, el **sodio** soluble disminuyó en la rizosfera tanto de las parcelas tratadas como en las control, indicando que las sales lavadas serían principalmente cloruro de sodio, mientras que las sales que se acumulan en la rizosfera son sulfatos de calcio, magnesio y potasio.
- El contenido en **carbonatos** es elevado en todas las parcelas, no observándose ninguna variación significativa entre tratamientos.
- El suelo de las parcelas de estudio está equilibrado, por lo que se podrían catalogar como suelos **franco arcillosos**. No existiendo diferencias entre antes y después del cultivo en suelo rizosférico y no rizosférico, ni entre tratamientos.
- En ambos tratamientos antes del cultivo los niveles de **materia orgánica** son medios. Transcurrido el cultivo, se produce un aumento en la rizosfera de ambos tratamientos mientras que en el suelo no rizosférico se mantiene constante, no observándose diferencias entre tratamientos, lo que indica que los incrementos observados son debidos a la segregación de compuestos orgánicos por las raíces y no por el efecto de las bacterias.
- La relación **C/N** presenta valores normales antes del cultivo, trascurrido el cultivo, se produce una disminución de la relación C/N en los suelos no rizosféricos, lo cual es debido al aumento de nitrógeno total, provocando una alta liberación de nitrógeno. Por el contrario, debido tanto al ligero aumento del carbono orgánico como a la disminución del nitrógeno en la rizosfera de las

parcelas tratadas se produce un aumento de la relación C/N, indicando una menor liberación de N, aspecto que no se observa en la rizosfera de las parcelas control cuyo ratio se mantiene invariante.

- Los resultados muestran un mayor consumo de **fósforo y nitrógeno** por parte de la planta, promovido por una mayor liberación de estos elementos en el suelo por el efecto de las bacterias.
- Los valores de **fósforo, cobre, hierro, zinc y manganeso asimilables** antes del cultivo en ambos tratamientos son adecuados, por lo que no se esperan deficiencias nutricionales por causa de estos elementos.
- En ambos tratamientos se produce una disminución de **fósforo, cobre y zinc asimilable** tanto en los suelos rizosféricos como no rizosféricos, siendo más acusado en las parcelas tratadas y en la rizosfera, quizás debido a que los microorganismos promueven la liberación de estos nutrientes y el cultivo lo ha absorbido en mayor proporción que en las parcelas no tratadas.
- Tanto en los suelos rizosféricos como no rizosférico se produce un aumento en las concentraciones de **hierro asimilable** en ambos tratamientos, siendo más acusado en la rizosfera, indicando que la segregación de ácidos orgánicos por parte de la planta produce una liberación de este elemento del suelo. Sin embargo, las diferencias observadas entre tratamientos inducen a pensar que el fitofortificante incrementa la biodisponibilidad de este elemento actuando principalmente en la rizosfera de la planta.
- El comportamiento de las concentraciones de **manganeso asimilable** en los suelos no rizosféricos son semejantes entre tratamientos, disminuyendo en ambos casos. Por el contrario, en los suelos rizosféricos se produce un aumento en las parcelas tratadas mientras que en las control disminuye, lo que indica que el fitofortificante produce una mayor liberación de este elemento en el suelo.

Propiedades microbiológicas/bioquímicas del suelo

- Los valores de CBM y de respiración antes del cultivo son en general bajos, indicando un bajo contenido de microorganismos y una baja actividad de los mismos en dichas parcelas antes de proceder al cultivo. Por el contrario, una vez aplicado el fitofortificante se produce un aumento muy significativo de los microorganismos y en su actividad, especialmente en la zona rizosférica donde su proliferación es mayor debido a unas mejores condiciones edáficas

- Los valores de **actividad fosfatasa, fosfodiesterasa, ureasa y proteasa** antes del cultivo en las parcelas de estudio de ambos tratamientos son en general bajos, indicando una baja actividad de estas enzimas en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.
- En el suelo rizosférico de ambos tratamiento se produce un aumento en las actividades enzimáticas, el cual es significativamente mayor cuando aplicamos el fitofortificante.

Balance nutricional

- Las concentraciones de **manganeso, hierro, zinc, cobre, sodio, magnesio, calcio, fósforo y nitrógeno** en hojas se encuentran dentro del rango normal.
- Los resultados indican que se produce una mayor absorción de **manganeso y hierro** por parte de las plantas control mientras que su translocación es menor.
- Los resultados indican que la translocación de **zinc** se produce hacia la corteza de los frutos siendo más significativo en el caso de las parcelas tratadas.
- Los resultados indican, que se produce una mayor absorción de **cobre** por parte de las plantas control y este no se transloca hacia los órganos aéreos.
- Se observa una ligera mayor absorción de **sodio** en las parcelas tratadas, con escasa translocación de este elemento en la planta.
- Las concentraciones de **potasio** en hojas se encuentran en concentraciones deficitarias, cuya mayor acumulación se produce en el tallo, siendo este más significativo en el caso de las parcelas tratadas con el fitofortificante.
- Se observa una ligera mayor translocación y acumulación de **magnesio** hacia hojas y tallo en las parcelas tratadas.
- Los resultados indican que el **calcio** es principalmente translocado a las hojas cuyas concentraciones son ligeramente superiores en las parcelas tratadas
- Tanto el **fósforo** como el **nitrógeno** se transloca a los órganos aéreos de la planta, especialmente a los frutos en el caso del fósforo y a las hojas en el caso del nitrógeno, proceso que sucede con mayor intensidad en las parcelas tratadas, lo cual indicaría una mayor absorción de este elemento por la planta favorecido por la aplicación del fitofortificante.

Calidad y producción

- El **peso medio** es superior en las parcelas tratadas que en las control, 750 g y 600 g respectivamente.
- Los frutos recolectados en las parcelas tratadas son ligeramente más grandes que en las control, tanto en su **diámetro axial como ecuatorial**.
- Tanto la forma de los frutos como el **grosor de corteza y pulpa** son semejantes entre tratamientos.
- Los frutos tratados estaban más **maduros** en el momento de la recolección y por lo tanto presentan cierta precocidad respecto a los recolectados en las parcelas control.
- El **contenido de azúcares** es superior en los frutos de las parcelas tratadas que en las control.
- Tanto el **número de frutos** recolectados como el **peso total** de los mismo en las parcelas tratadas es superior que en las parcelas control, equivalente a 13866 y 12266 frutos/ha; y 11t/ha y 8t/ha respectivamente.

Cultivo de maíz

Propiedades físico-químicas del suelo

- El pH al inicio del ensayo el **pH** es moderadamente alcalino, lo cual se debe al alto contenido en carbonatos. Observándose un incremento en las muestras tomadas al final del cultivo, siendo este mayor en las parcelas tratadas.
- Antes del cultivo, la **salinidad** de las parcelas estudiadas es moderada, no esperándose ninguna reducción en la productividad por esta causa. Los resultados indican que en ambos tratamientos se ha producido un lavado de sales solubles durante el cultivo.
- Una vez transcurrido el cultivo, se produce una disminución de todos los **aniones** tanto en la rizosfera como en el suelo no rizosférico de las parcelas de ambos tratamientos. En el caso de los **nitritos, nitratos y fosfatos** esta disminución es más significativa en los suelos rizosféricos que en los no rizosféricos en las parcelas tratadas, indicando que las bacterias podrían haber estado liberando estos nutrientes en formas solubles, los cuales han sido o bien tomados por la planta o lavados con los riesgos.
- Las concentraciones de todos los **cationes** disminuyeron tanto en la rizosfera como en el suelo no rizosférico de ambos tratamientos, siendo esta disminución más acusada en las parcelas control. Las concentraciones de todos los cationes

fue menor en el suelo rizosférico de las parcelas tratadas, lo que podría estar indicando una mayor absorción de estos nutrientes por la planta o bien un lavado de los mismos con mayor intensidad que en la zona no rizosférica.

- El contenido en **carbonatos** es elevado en todas las parcelas, no observándose ninguna variación significativa entre tratamientos.
- El suelo de las parcelas de estudio está equilibrado, por lo que se podrían catalogar como suelos **franco arcillosos o franco arcillo limosos**. No existiendo diferencias entre antes y después del cultivo en suelo rizosférico y no rizosférico, ni entre tratamientos.
- En ambos tratamientos antes del cultivo los niveles de **materia orgánica** son medios. Transcurrido el cultivo, se produce un aumento en la rizosfera de ambos tratamientos mientras que en el suelo no rizosférico se mantiene constante, no observándose diferencias entre tratamientos, lo que indica que los incrementos observados son debidos a la segregación de compuestos orgánicos por las raíces y no por el efecto de las bacterias.
- La relación **C/N** presenta valores altos antes del cultivo, trascurrido el cultivo, se produce una disminución de la relación C/N en los suelos no rizosféricos, lo cual es debido al aumento de nitrógeno total, provocando una alta liberación de nitrógeno. Por el contrario, debido tanto al ligero aumento del carbono orgánico como a la disminución del nitrógeno en la rizosfera de las parcelas tratadas se produce un aumento de la relación C/N, indicando una menor liberación de N, aspecto que no se observa en la rizosfera de las parcelas control cuyo ratio se mantiene invariante.
- Los resultados muestran un mayor consumo de **fósforo y nitrógeno** por parte de la planta, promovido por una mayor liberación de estos elementos en el suelo por el efecto de las bacterias.
- Los valores de fósforo, cobre, hierro, zinc y manganeso asimilable antes del cultivo en todas las parcelas son adecuados, por lo que no se esperan deficiencias nutricionales por causa de estos elementos.
- Los resultados indican que el fitofortificante incrementa la concentración de hierro y fósforo asimilable en los suelos rizosféricos, mientras que en el caso de manganeso y cobre es la misma actividad radicular la principal responsable de la concentración de estos elementos en su estado asimilable.

Propiedades microbiológicas/bioquímicas del suelo

- Los valores de **CBM y de respiración** antes del cultivo son en general bajos, indicando un bajo contenido de microorganismos y una baja actividad de los mismos en dichas parcelas antes de proceder al cultivo. Por el contrario, una vez aplicado el fitofortificante se produce un aumento muy significativo de los microorganismos y en su actividad, especialmente en la zona rizosférica donde su proliferación es mayor debido a unas mejores condiciones edáficas
- Los valores de **actividad fosfatasa, fosfodiesterasa y ureasa** antes del cultivo en las parcelas de estudio de ambos tratamientos son en general bajos, incluso inexistente en el caso de la actividad **proteasa**, indicando una baja actividad de estas enzimas en dichas parcelas antes de proceder al cultivo.
- En el suelo rizosférico de ambos tratamiento se produce un aumento en las actividades enzimáticas, el cual es significativamente mayor cuando aplicamos el fitofortificante.

Balance nutricional

- Las concentraciones de **manganeso, hierro, zinc, cobre, sodio, magnesio, calcio, fósforo y nitrógeno** en hojas se encuentran dentro del rango normal.
- Los resultados indican que se produce una mayor absorción de **hierro, cobre, manganeso, sodio** por parte de las plantas control, acumulándose principalmente en las hojas el manganeso y en la raíz el hierro, cobre, sodio.
- Los resultados indican que se produce una mayor absorción de **zinc** por parte de las plantas tratadas, acumulándose principalmente en las hojas.
- Se produce una mayor acumulación de **potasio** en el tallo en las parcelas control, mientras que este es mayor en raíz en las tratadas, siendo semejantes en hojas. Estos resultados indican, que en las parcelas control se produce una mayor translocación de potasio hacia tallo y grano, mientras que en las tratadas se acumula en mayor media en la raíz.
- Las mayores concentraciones de **magnesio y calcio** se encuentran en la hoja, observándose una ligera mayor translocación y acumulación de este elemento hacia los granos en las parcelas tratadas.
- Las mayores concentraciones de **fósforo y nitrógeno** se encuentran en el grano, no existiendo diferencias entre tratamientos.

Calidad y producción

- El **peso medio** de las mazorcas es superior en las parcelas tratadas que en las control, 125 g y 105g respectivamente.
- Las mazorcas recolectadas en las parcelas tratadas son un 20% más largas que en las control, siendo igual de gruesas, y presentan un 24% más de granos.
- Tanto el contenido en **proteína como el de almidón** son ligeramente superiores en las parcelas control que las tratadas.

5. Efecto de la dosis de aplicación del fitofortificante en la lixiviación de nutrientes

5.1. Objetivos

Objetivo general

El objetivo de este capítulo es el estudio del efecto de la aplicación de un fitofortificante (bacterias, *Pseudomonas fluorescens*) a distintas dosis en la liberación de nutrientes del suelo del cultivo de melón y de maíz de Yechar mediante ensayos de lixiviación en columnas.

5.2. Material y métodos

Para este ensayo se tomaron cinco columnas de suelo con una profundidad de 0-60 cm, para cada cultivo. Este muestreo se realizó antes de realizar la plantación del maíz y melón. Se tendrán por lo tanto una columna control y cuatro columnas para realizar los tratamientos tanto en el caso de Maíz como en el caso del Melón, con un total de 8 columnas (Figura 5.1).

Cada columna constará de dos horizontes cuyas características físico-químicas y microbiológicas/bioquímicas serán analizadas antes de comenzar con los tratamientos.

En el laboratorio se realizará la simulación de las condiciones de campo en cuanto a riegos y se ensayarán tres dosis de bacterias (D1: recomendada “1 kg ha⁻¹”, D2=2xD1, D3=3xD1 y D5=5xD1), estudiándose las características físico-químicas de los lixiviados implicadas en la dinámica de nutrientes. Una vez el ensayo haya concluido, los suelos de las columnas serán extraídos y se analizarán las características físico-químicas y microbiológicas/bioquímicas de cada uno de los horizontes.



Figura 5.1. Esquema de los ensayos llevados a cabo

Análisis de laboratorio

A continuación se muestra la relación de las determinaciones analíticas a realizar según los objetivos planteados:

Suelo (horizontes de suelo en columnas)

Propiedades físico-químicas y microbiológicas/bioquímicas

- Acidez del suelo, pH del extracto 1:1 (Peech, 1965).
- Salinidad, conductividad eléctrica del extracto 1:5 (Andrades, 1996).
- Carbono inorgánico, carbonatos (Elemental Analysis LECO CHNS).
- Carbono orgánico total. (Elemental Analysis LECO CHNS).
- Capacidad de intercambio catiónico (Chapman, 1965).
- Análisis granulométrico (FAO-ISRIC, 2006).
- Oligoelementos asimilables: hierro, cobre, zinc y manganeso (Linsay y Norvell, 1978).
- Nitrógeno total (Analizador Elemental, LECO CHNS).
- Fósforo total (USEPA, 1996)
- Fósforo asimilable (Watanabe y Olsen, 1965).
- Amonio, nitratos, nitritos y fosfatos (Cromatografía iónica).
- Carbono de la biomasa microbiana (indicador de biomasa microbiana total) determinado por el método de fumigación-extracción (Vance *et al.*, 1987).
- La respiración basal (medida de la actividad microbiana) se monitoriza durante 4 días a 55% de la capacidad de campo y 25°C en botes sellados conteniendo un vial con NaOH para absorber el CO₂ (Anderson, 1982)
- Nitrógeno de la biomasa microbiana determinado por el método de fumigación-extracción (Vance *et al.*, 1987).
- Actividad proteasa (Bonmatí *et al.*, 1988; Kandeler *et al.*, 1999).
- Actividad ureasa (Nannipieri *et al.*, 1978; Kandeler *et al.*, 1999).
- Actividad fosfodiesterasa (Bowman y Tabatabai, 1978).
- Actividad fosfatasa (Tabatabai y Bremner, 1969)

Lixiviados

- pH
- Eh
- Conductividad eléctrica.

- Nitrógeno total soluble.
- Carbono orgánico soluble.
- Amonio, nitratos, nitritos y fosfatos

5.3. Resultados y discusión

Suelos del cultivo de melón

Evolución de las propiedades físico-químicas: pH, Eh y CE (salinidad)

En la Figura 5.2 se presentan la evolución de los valores de pH para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede apreciar no existen diferencias entre tratamientos, produciéndose un aumento del pH hasta la 4ª lixiviación para fluctuar de manera aleatoria entre 8 y 8,4, con tendencia a estabilizarse a medida que aumenta el número de lixiviaciones.

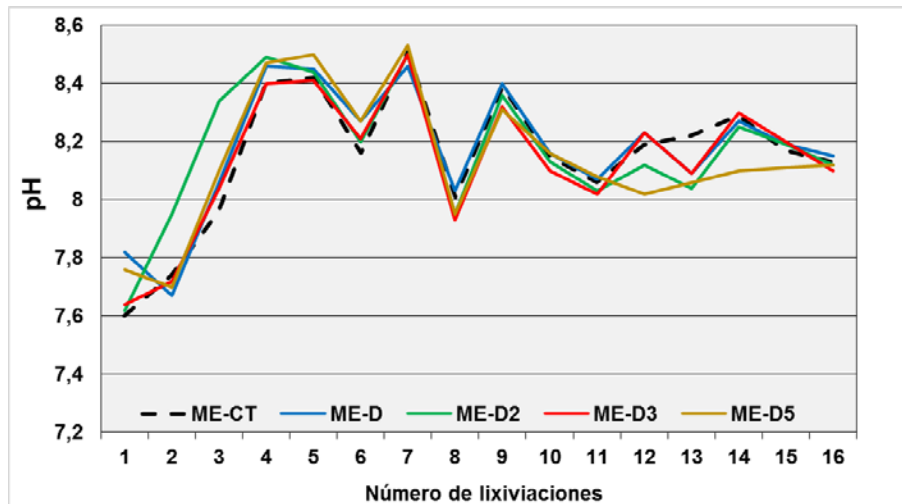


Figura 5.2. Evolución del pH en columnas de lixiviación a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

En la Figura 5.3 se presentan la evolución de los valores de potencial redox para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede apreciar no existen diferencias entre tratamientos hasta la 6ª lixiviación, a partir de la cual el potencial redox aumenta significativamente tanto en la columna control y la tratada con la dosis recomendada (D) indicando un aumento en las conducciones reductoras, mientras que en el resto de tratamientos se mantienen en un rango inferior, siendo más bajo a medida que aumentamos la dosis del fitofortificante, lo cual podría indicar que las bacterias promueven las condiciones oxidantes, es decir, la oxigenación en las columnas y en consecuencia del suelo.

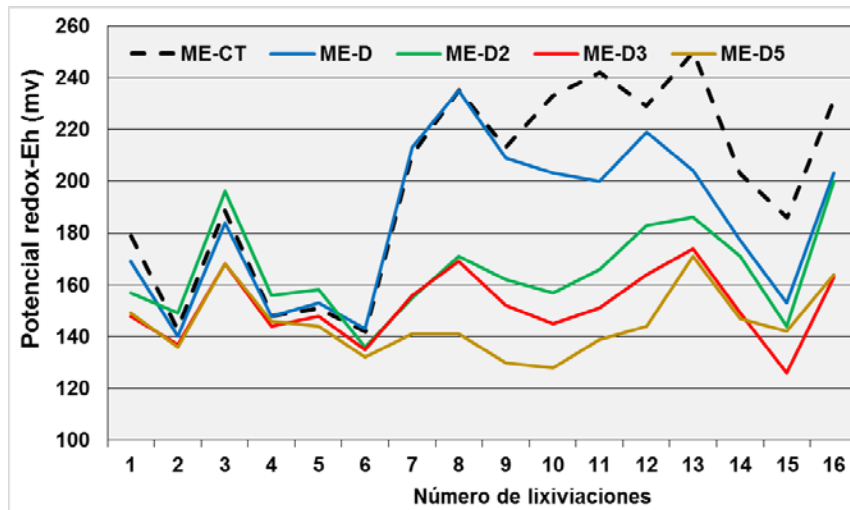


Figura 5.3. Evolución del potencial redox en columnas de lixiviación a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

En la Figura 5.4 se presentan la evolución de los valores de conductividad eléctrica para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede ver la salinidad decrece rápidamente con las lixiviaciones en todos los tratamientos, observándose los mayores valores en el tratamiento con la dosis 3D. Sin embargo, a partir de la 6ª lixiviación se produce una estabilización donde todos los tratamientos presentan valores semejantes, indicando que la mayor parte de las sales solubles ha sido lavada de la columna.

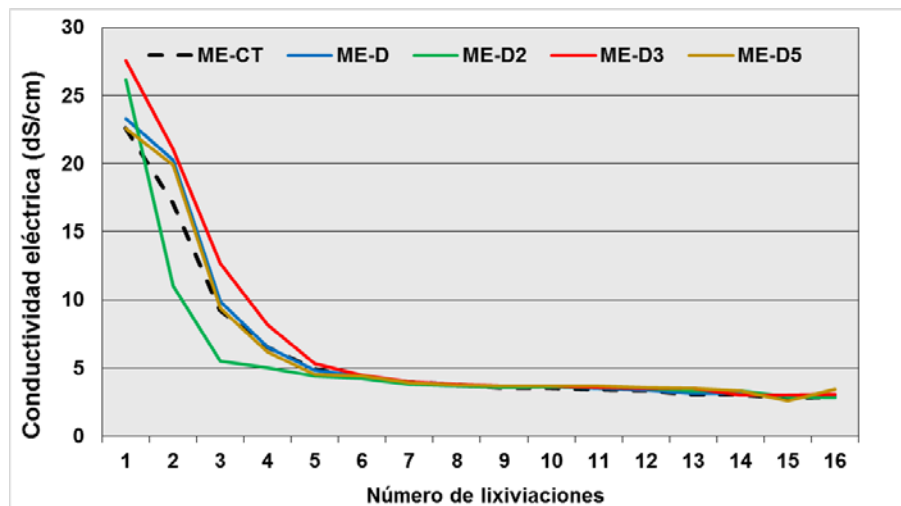
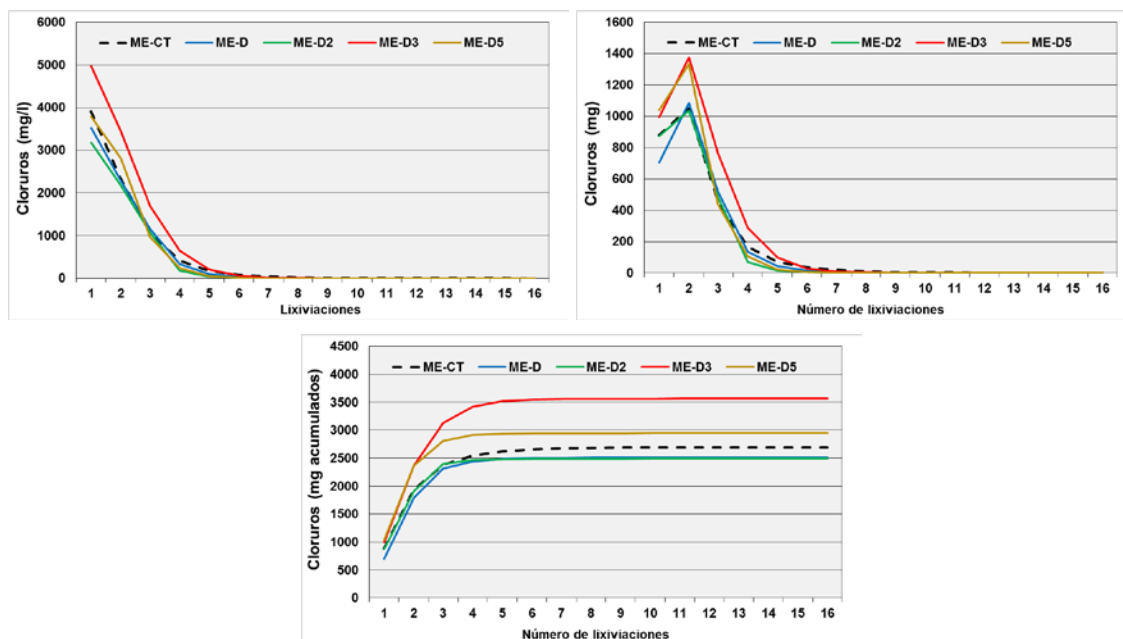


Figura 5.4. Evolución de la salinidad (conductividad eléctrica) en columnas de lixiviación a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

Evolución de las concentraciones y cantidades acumuladas de aniones

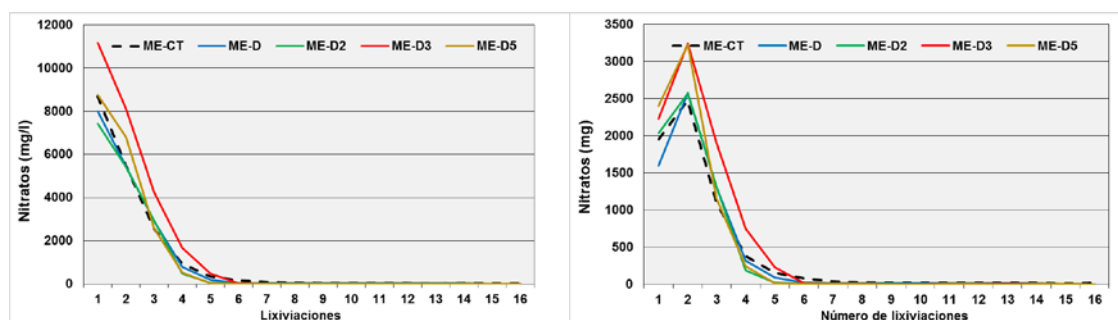
En las Figuras 5.5, 5.6 y 5.7 se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de cloruros lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del

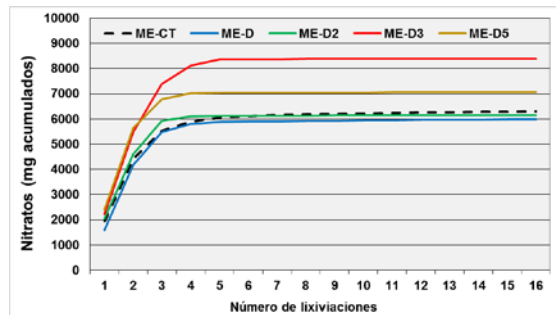
fitofortificante. Como se puede observar, los valores decrecen rápidamente con las primeras lixiviaciones, hasta la 6ª lixiviación, donde las concentraciones de cloruros son prácticamente inapreciables. Este lavado se produce con mayor intensidad en las columnas tratadas con la dosis 3D, seguida de la 5D, con valores acumulado de 3500 y 3000 mg, mientras que la columna control lixivió 2700 mg de cloruro.



Figuras 5.5, 5.6. y 5.7. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de cloruros en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

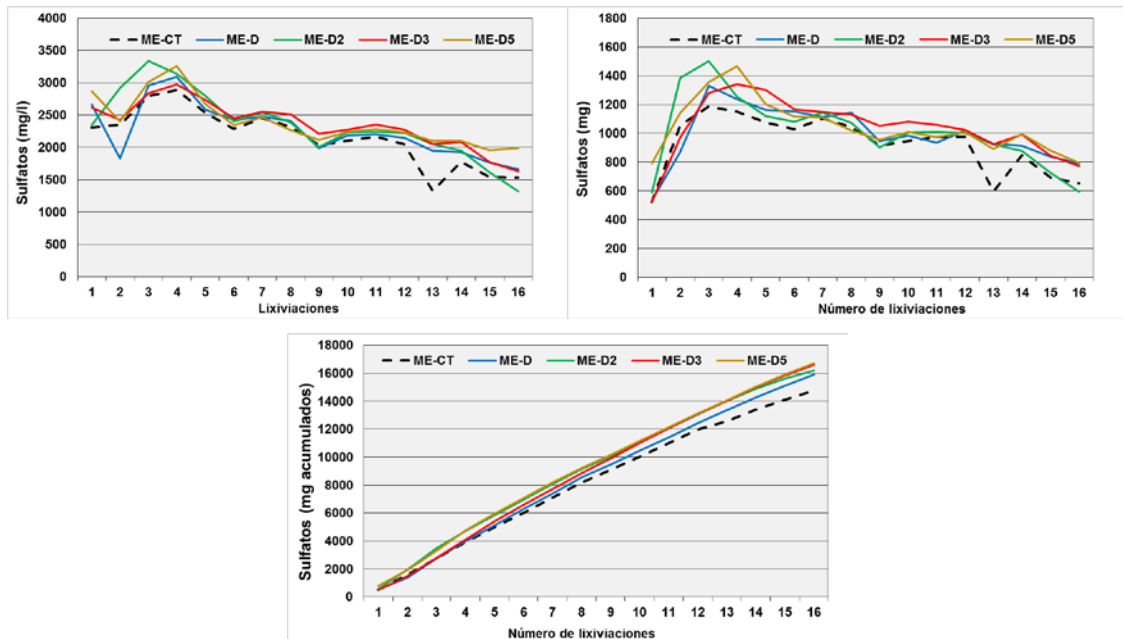
En las Figuras 5.8, 5.9 y 5.10 se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de nitratos lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, los valores decrecen rápidamente con las primeras lixiviaciones, hasta la 6ª lixiviación, donde las concentraciones de nitratos son prácticamente inapreciables. Al igual que en el caso de los cloruros, este lavado se produce con mayor intensidad en las columnas tratadas con la dosis 3D, seguida de la 5D, con valores acumulado de 8200 y 7000 mg, mientras que la columna control lixivió 6100 mg de nitratos.





Figuras 5.8, 5.9 y 5.10. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de nitratos en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

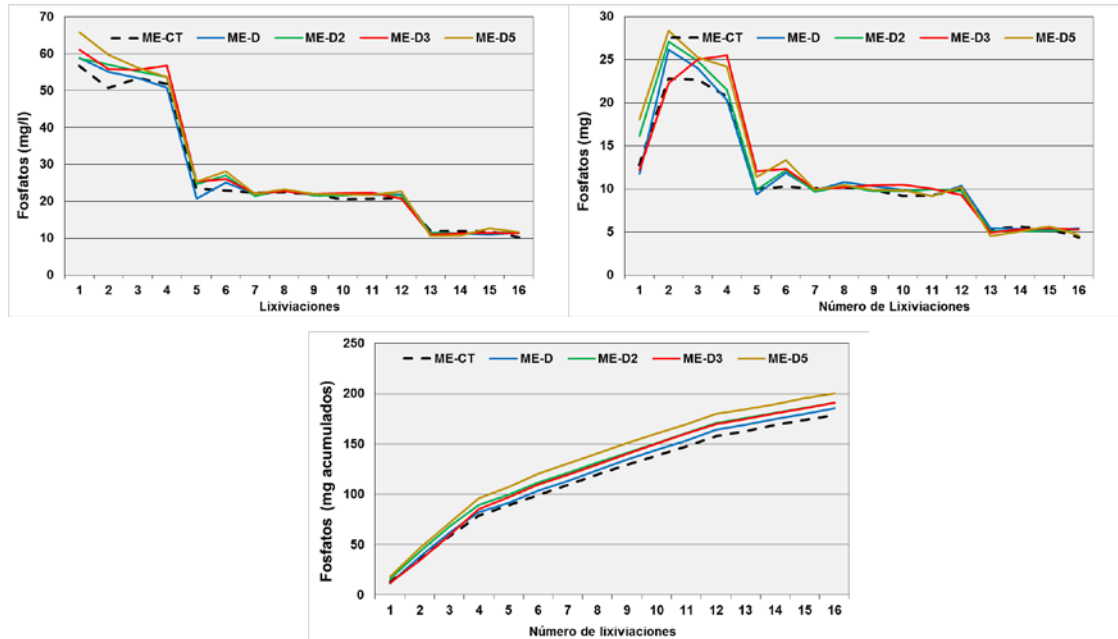
En las Figuras 5.11, 5.12 y 5.13 se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de sulfatos lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, al contrario que en los dos casos anteriores, los valores de sulfatos lixiviados decrecen de forma progresiva durante todo el periodo del ensayo, lo que indica que es un anión menos móvil. En este caso, todos los tratamientos promueven una liberación de sulfatos mayor que la columna control, siendo esta mayor a medida que la dosis del fitofortificante aumenta.



Figuras 5.11, 5.12 y 5.13. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de sulfatos en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

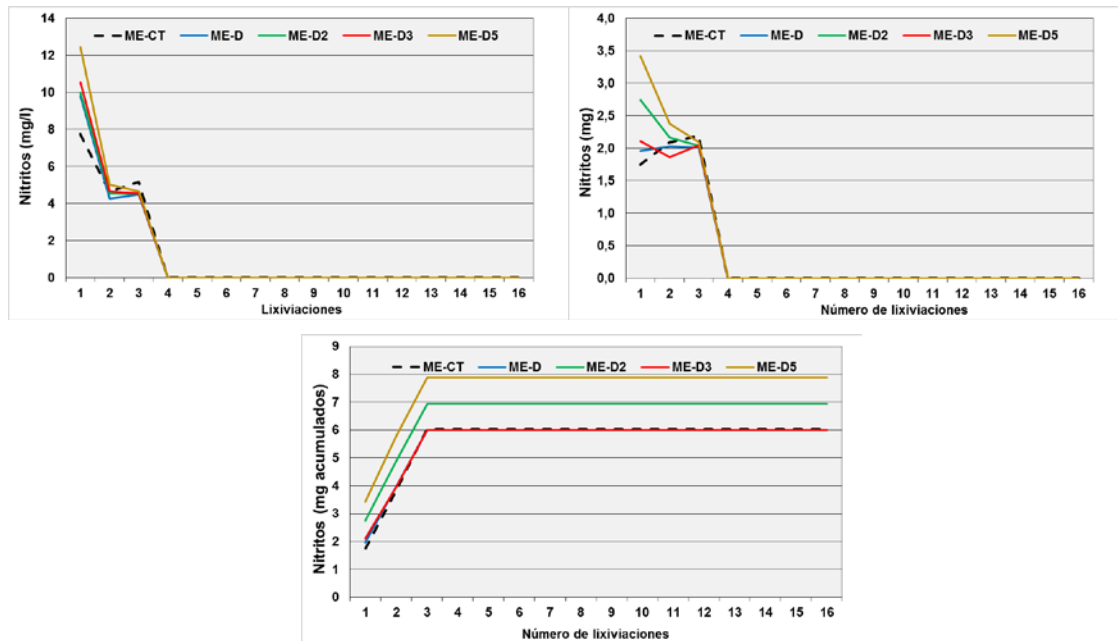
En las Figuras 5.14, 5.15 y 5.16. se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de fosfatos lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, los valores de fosfatos lixiviados decrecen siguiendo un patrón con tres etapas, hasta la 4ª lixiviación ésta se

encuentra entre 50-60 mg/l, entre la 5° lixiviación y la 12° lo hace con valores constante de 25 mg/l, para bajas tanta 10 mg/l desde la 13° hasta a 16° lixiviación. Al igual que para los sulfatos, todos los tratamientos promueven una liberación de fosfatos mayor que la columna control, siendo esta mayor a medida que la dosis del fitofortificante aumenta.



Figuras 5.14, 5.15 y 5.16. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de fosfatos en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

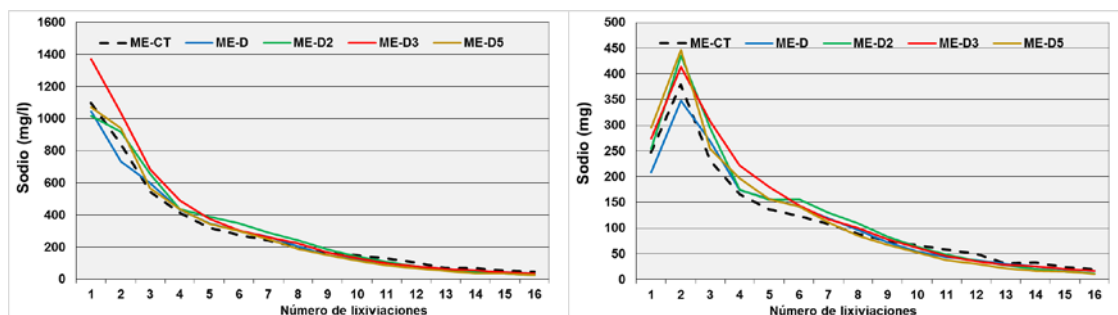
En las Figuras 5.17, 5.18 y 5.19. se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de nitritos lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, los valores decrecen rápidamente con las primeras lixiviaciones, hasta la 4° lixiviación, donde las concentraciones de nitritos son prácticamente inapreciables. Este lavado se produce con mayor intensidad en las columnas tratadas con la dosis 5D, con valores acumulado de 8 mg, mientras que la columna control lixivió 6 mg de nitritos.

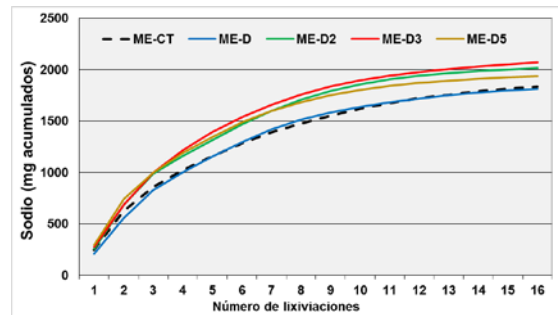


Figuras 5.17, 5.18 y 5.19. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de nitritos en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

Evolución de las concentraciones y cantidades acumuladas de cationes

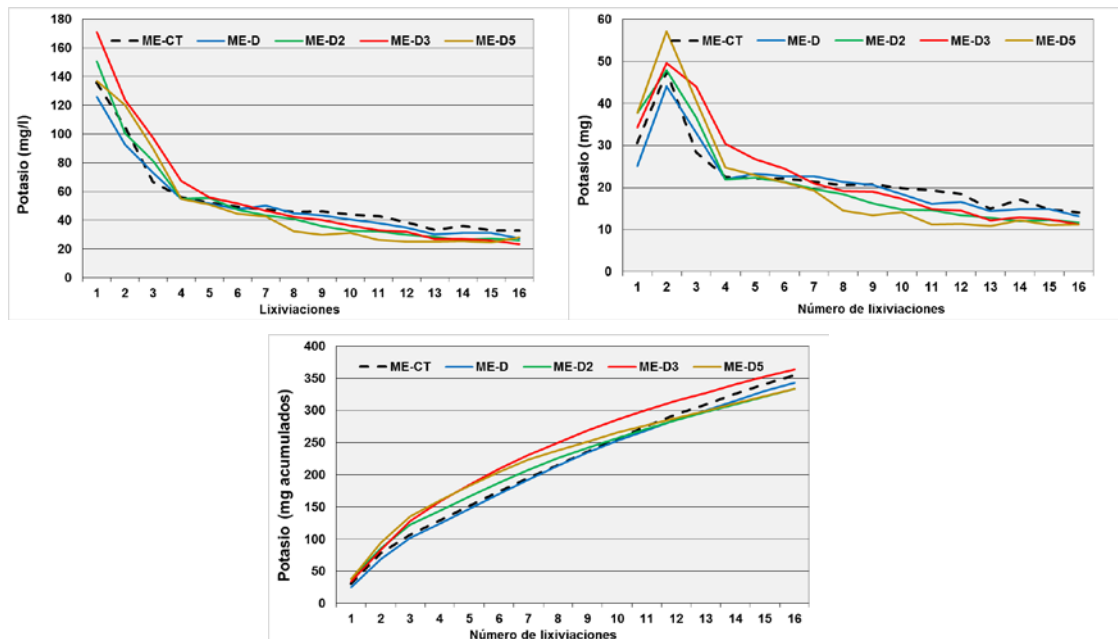
En las Figuras 5.20, 5.21 y 5.22. se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de sodio lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, los valores decrecen progresivamente con las lixiviaciones, hasta alcanzar concentraciones de sodio muy reducidas en los últimos eventos de lixiviación. Las mayores concentraciones de sodio lixiviadas corresponden con las primeras lixiviaciones, observándose los mayores niveles con las dosis más altas del fitofortificante. De hecho, a excepción de la dosis D, el resto de dosis incrementa las cantidades de sodio lixiviadas respecto al tratamiento control.





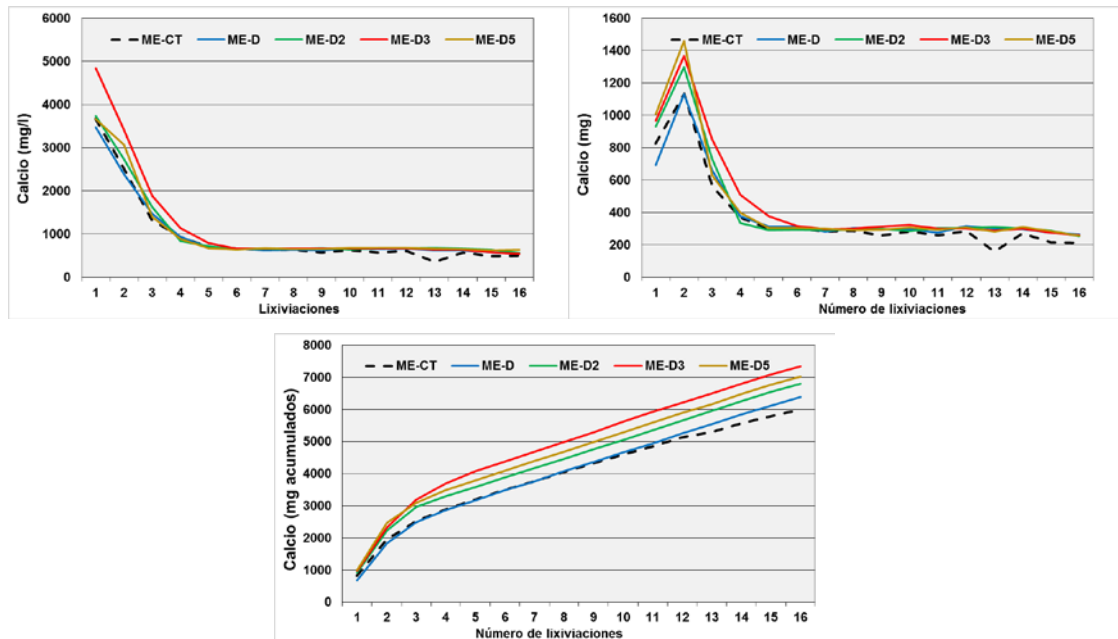
Figuras 5.20, 5.21 y 5.22. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de sodio en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

En las Figuras 5.23, 5.24 y 5.25. se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de potasio lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. En este caso, las concentraciones de potasio decrecen rápidamente en los primeros eventos de lixiviación (hasta la 4º lixiviación), para seguir disminuyendo de forma progresivamente desde la 5º lixiviación hasta el final del ensayo. Como se puede ver, hasta la 4º lixiviación las dosis más elevadas del fitofortificante promueven una mayor liberación de potasio, sin embargo a partir de ésta las concentraciones lixiviadas de potasio decrecen incluso por debajo del tratamiento control, lo cual indica que las bacterias actuarían de forma eficiente en la liberación de potasio al inicio del cultivo.



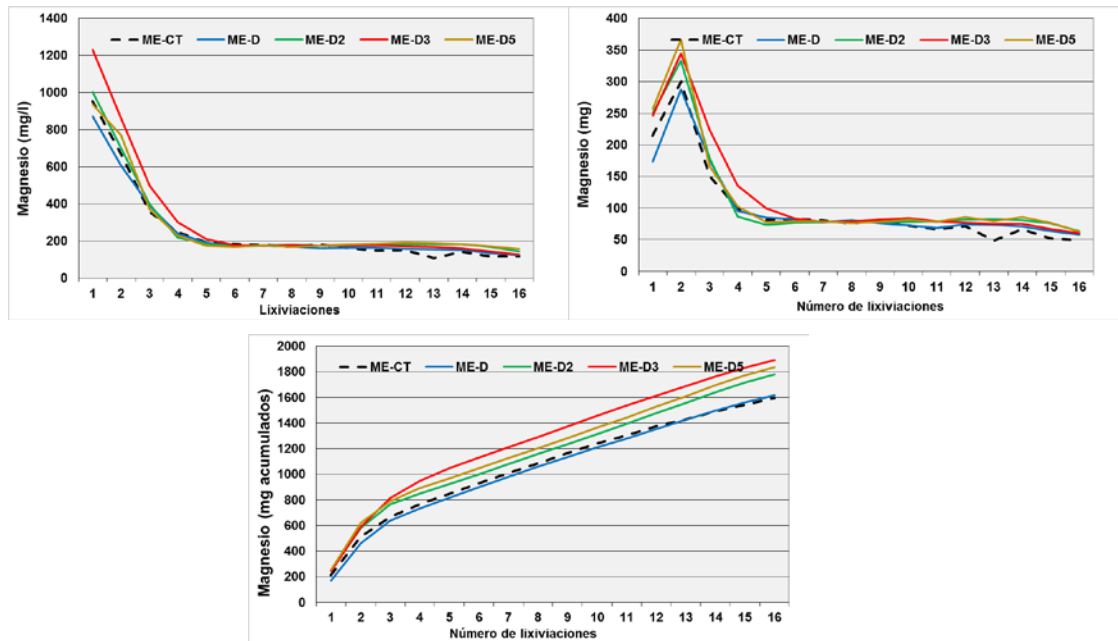
Figuras 5.23, 5.24 y 5.25. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de potasio en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

En la Figura 5.26, 5.27 y 5.28. se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de calcio lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, las concentraciones de calcio decrecen rápidamente con las primeras lixiviaciones, hasta la 6^o lixiviación, donde se estabilizan hasta el final del ensayo. Este lavado se produce con mayor intensidad en las columnas tratadas con la dosis 3D, seguida de la 5D, con valores acumulado de 7200 y 7000 mg, mientras que la columna control lixivió 6000 mg de calcio.



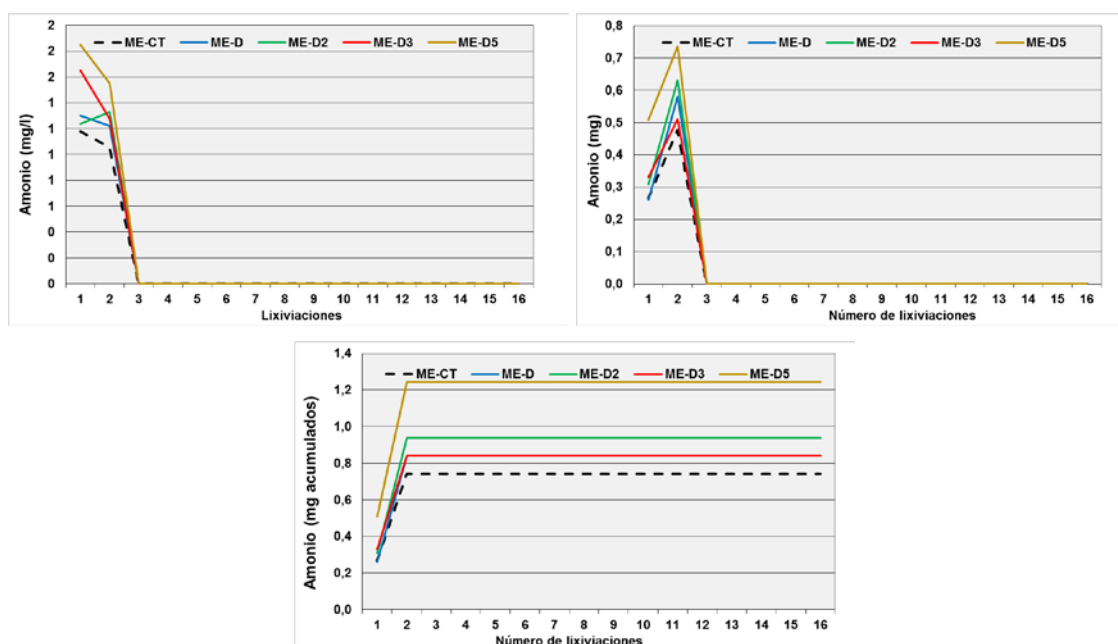
Figuras 5.29, 5.30 y 5.31. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de calcio en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

En las Figuras 5.32, 5.33 y 5.34. se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de magnesio lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Al igual que el calcio, las concentraciones de magnesio decrecen rápidamente con las primeras lixiviaciones, hasta la 6^o lixiviación, donde se estabilizan hasta el final del ensayo. Este lavado se produce con mayor intensidad en las columnas tratadas con la dosis 3D, seguida de la 5D, con valores acumulado de 1900 y 1800 mg, mientras que la columna control lixivió 1600 mg de magnesio.



Figuras 5.32, 5.33 y 5.34. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de magnesio en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

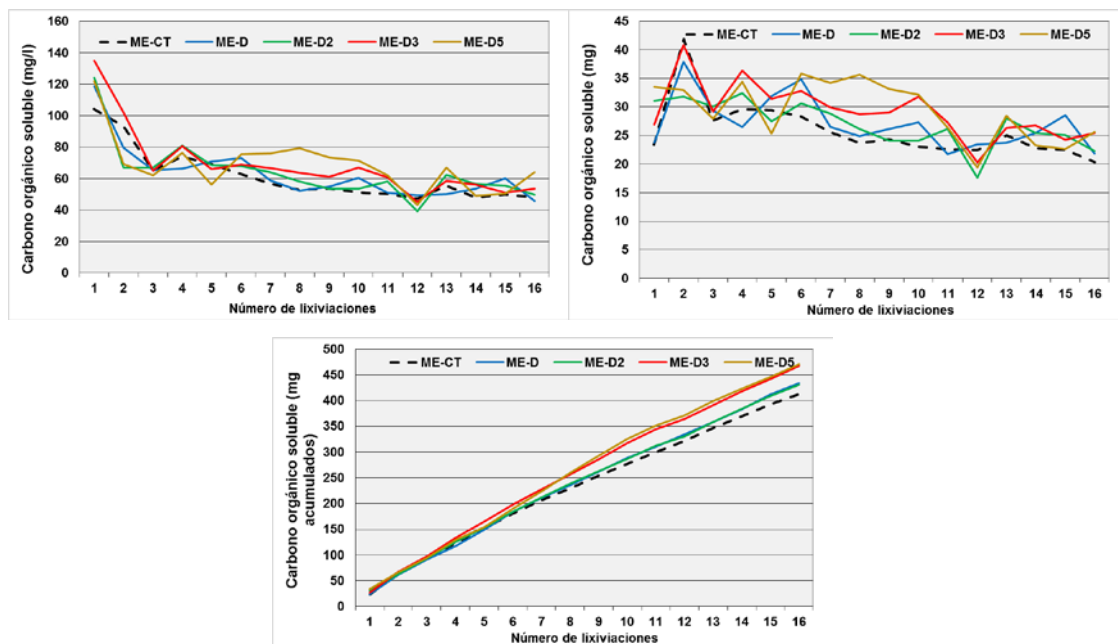
En las Figuras 5.35, 5.36 y 5.37. se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de amonio lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, los valores decrecen rápidamente con las primeras lixiviaciones, hasta la 3ª lixiviación, a partir de la cual no se produce lixiviación de amonio. Este lavado se produce con mayor intensidad en las columnas tratadas con la dosis 5D, con valores acumulados de 1,25 mg, mientras que la columna control lixivió 0,75 mg de amonio.



Figuras 5.35, 5.36 y 5.37. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de amonio en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

Evolución de las concentraciones y cantidades acumuladas de carbono orgánico soluble y nitrógeno soluble

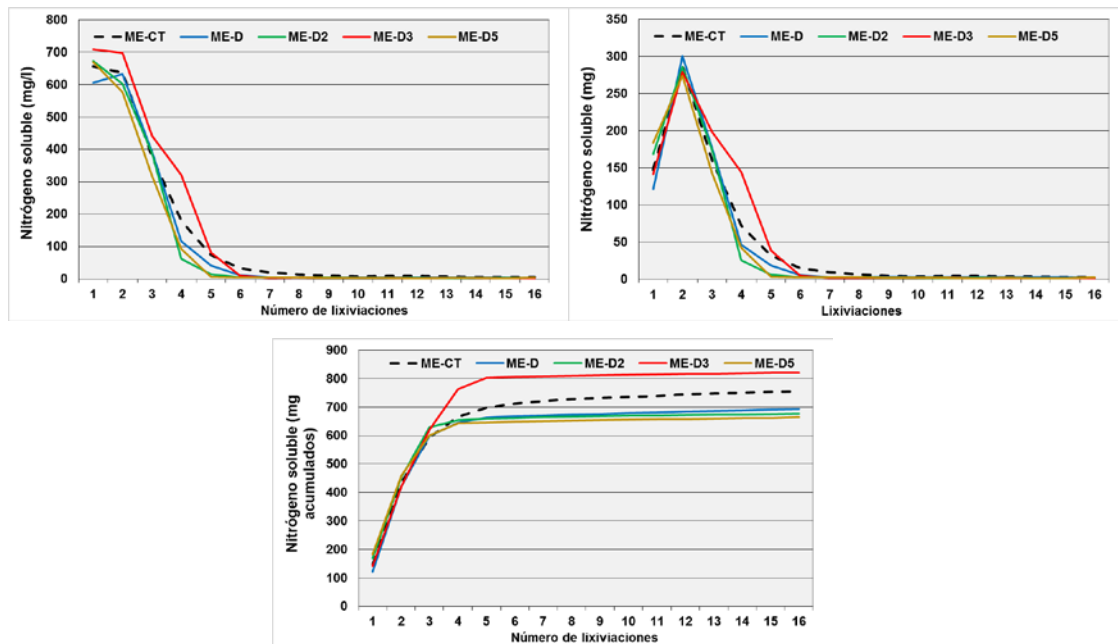
En las Figuras 5.38, 5.39 y 5.40. se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de carbono orgánico soluble lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, las concentraciones de carbono soluble lixiviados decrecen rápidamente en las 3 primeras lixiviaciones para hacerlo de forma progresiva hasta el final del ensayo. En este caso, todos los tratamientos promueven una liberación de carbono orgánico soluble mayor que la columna control, siendo ésta mayor a medida que la dosis del fitofortificante aumenta, lo que indicaría que las bacterias actuarían progresivamente degradando los compuestos orgánicos del suelo dando lugar formas más solubles que son lixiviadas con los sucesivos riegos.



Figuras 5.38, 5.39 y 5.40. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de carbono orgánico soluble en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

En las Figuras 5.41, 5.42 y 5.43. se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de nitrógeno soluble lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, los valores decrecen rápidamente con las primeras lixiviaciones, hasta la 6ª lixiviación, donde las concentraciones de nitrógeno soluble son prácticamente inapreciables. Al igual que en el caso de los nitratos, este lavado se produce con mayor intensidad en las columnas tratadas con la dosis 3D, con valores acumulados de 820 mg, mientras que la columna

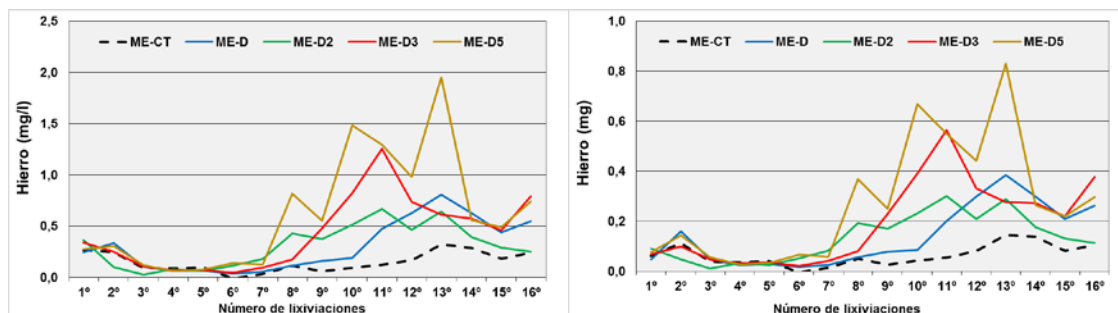
control lixivió 750 mg de nitratos, por el contrario el resto de tratamientos no produce mayores concentraciones ni cantidades de nitrógeno soluble que la columna control.

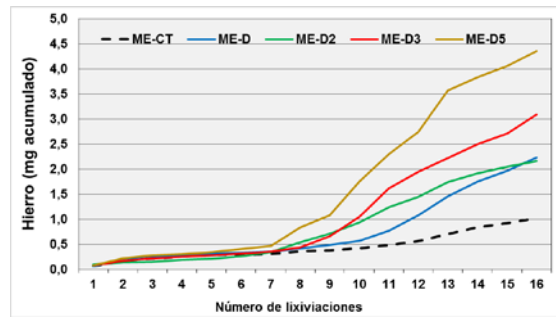


Figuras 5.41, 5.42 y 5.43. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de nitrógeno soluble en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

Evolución de las concentraciones y cantidades acumuladas de micronutrientes

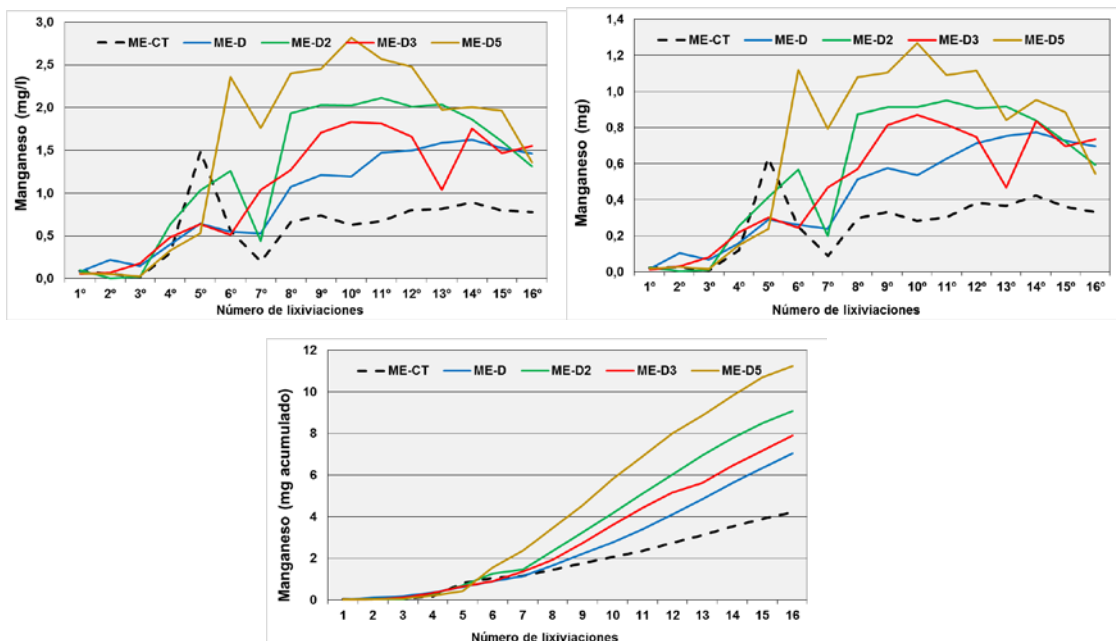
En las Figuras 5.44, 5.45 y 5.46. se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de hierro lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede apreciar, durante las primeras lixivaciones, hasta la 7ª lixiviación, tanto las concentraciones como las cantidades de hierro de los lixiviados fueron muy bajas y semejantes entre tratamientos. Sin embargo, a partir de la 8ª lixiviación se produce un aumento en dichas concentraciones y cantidades, siendo mayores a medida que aumentaba la dosis del fitofortificante aplicada, lo que indica que las bacterias aportadas comienzan a liberar este nutriente una vez han sido movilizados los macronutrientes (Ca, Mg y K), pasando de cantidades acumuladas de 1 mg de hierro en la columna control a 4,3 mg en la dosis 5D.





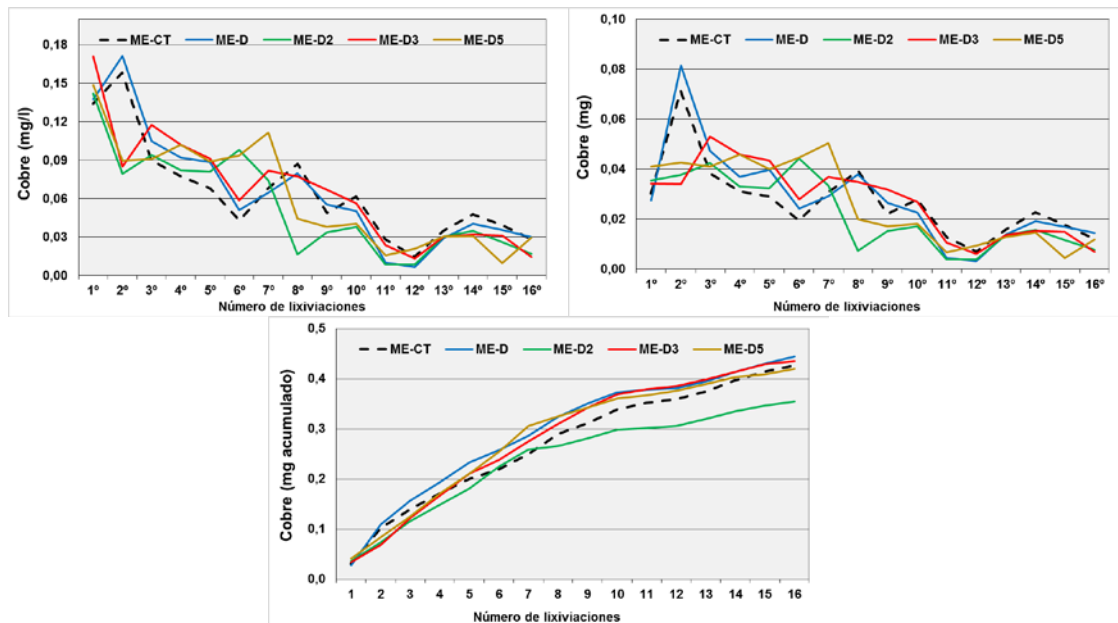
Figuras 5.44, 5.45 y 5.46. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de hierro en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

En las Figuras 5.47, 5.48 y 5.49. se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de manganeso lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. El patrón de comportamiento del manganeso es semejante al observado en el hierro, donde durante las primeras lixiviaciones, en este caso hasta la 4º lixiviación, tanto las concentraciones como las cantidades de manganeso de los lixiviados fueron muy bajas y semejantes entre tratamientos. Sin embargo, a partir de la 5º lixiviación se produce un aumento en dichas concentraciones y cantidades, siendo mayores a medida que aumentaba la dosis del fitofortificante aplicada, lo que indica que las bacterias aportadas comienzan a liberar este nutriente una vez han sido movilizados los macronutrientes (Ca, Mg y K), pasando de cantidades acumuladas de 4 mg de hierro en la columna control a 11 mg en la dosis 5D.



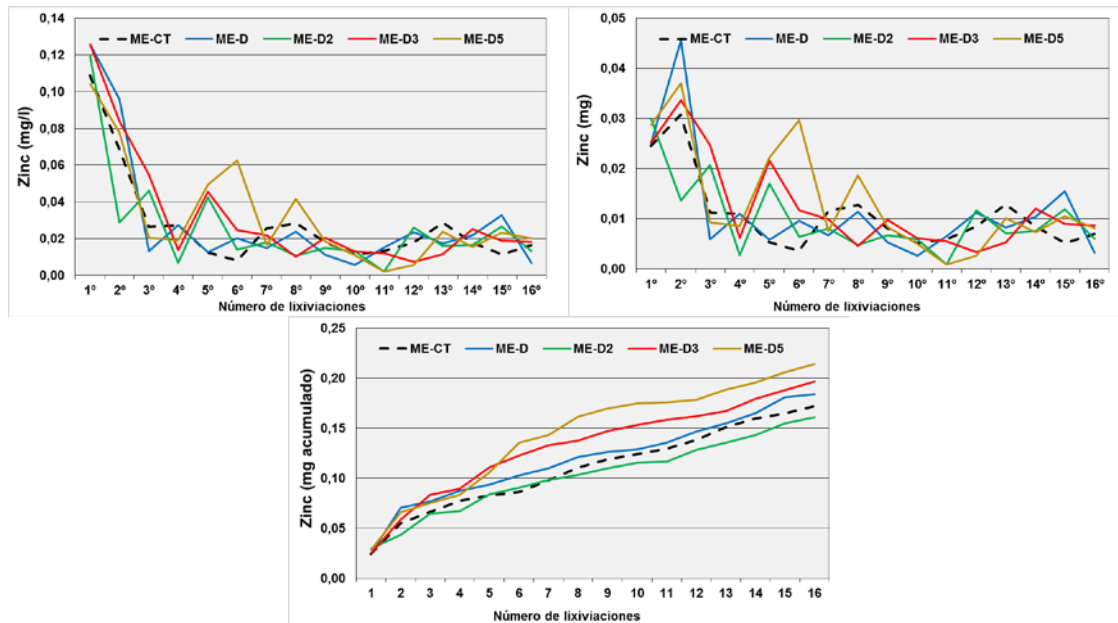
Figuras 5.47, 5.48 y 5.49. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de manganeso en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

En las Figuras 5.50, 5.51 y 5.52. se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de cobre lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, al contrario que en los dos casos anteriores, los valores de cobre lixiviados decrecen de forma progresiva durante todo el periodo del ensayo sin observarse diferencias significativas entre tratamientos. En este caso, todos los tratamientos promueven una liberación de cobre similar a la columna control, incluso inferior en la dosis 2D, por lo que indicaría que las bacterias aportadas no favorecen la liberación de cobre.



Figuras 5.53, 5.54 y 5.55. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de cobre en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

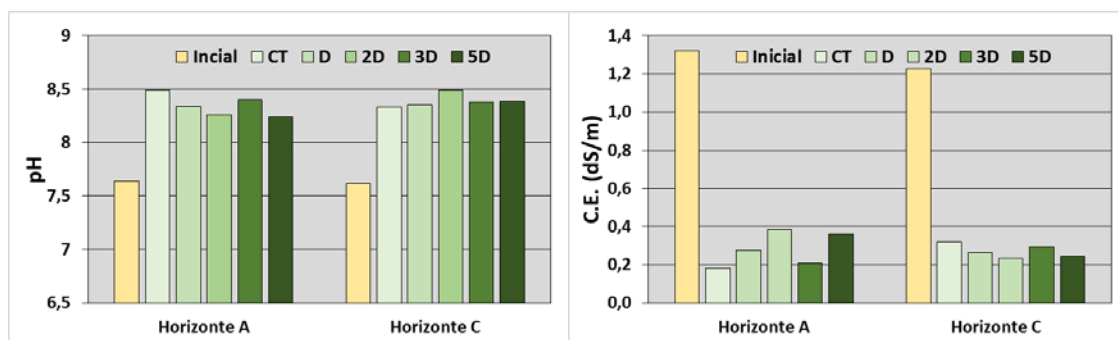
En las Figuras 5.56, 5.57 y 5.58. se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de zinc lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, las concentraciones de zinc soluble lixiviadas decrecen rápidamente en las 3 primeras lixiviaciones para estabilizarse hasta el final del ensayo, aunque con ciertas fluctuaciones. En este caso, todos los tratamientos promueven una liberación de zinc soluble mayor que la columna control, excepto la dosis 2D, siendo ésta mayor a medida que la dosis del fitofortificante aumenta.



Figuras 5.56, 5.57 y 5.58. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de zinc en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

Evaluación de las propiedades físico-químicas de los horizontes de las columnas

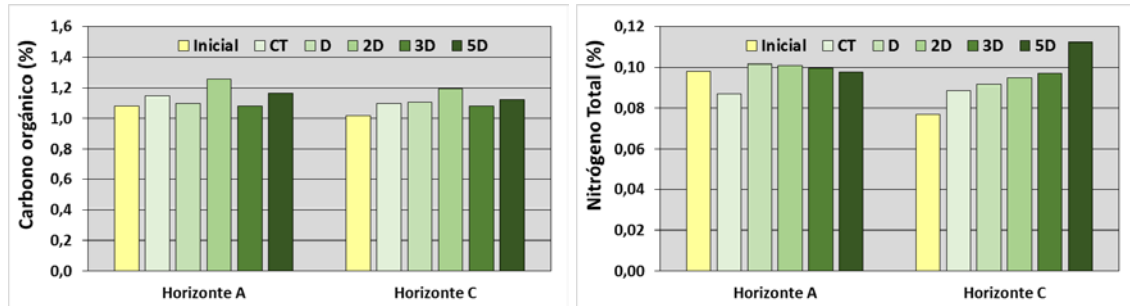
En las Figuras 5.59 y 5.60 se presentan los resultados de pH y CE de los dos horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante. Como se puede apreciar el suelo de todas las columnas aumenta su pH de valores cercanos a 7,5 a valores próximos 8,5; mientras que la salinidad disminuye desde valores cercanos a 1,3 dS/m a valores inferiores a 0,4 dS m⁻¹ debido a la lixiviaciones de las sales, no observándose diferencias significativas entre tratamientos.



Figuras 5.59 y 5.60. Valores de pH y CE en los horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante.

En las Figuras 5.61 y 5.62 se presentan los resultados de CO y NT de los dos horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante. Como se puede apreciar el carbono orgánico se mantiene relativamente constante entre los tratamientos en ambos horizontes.

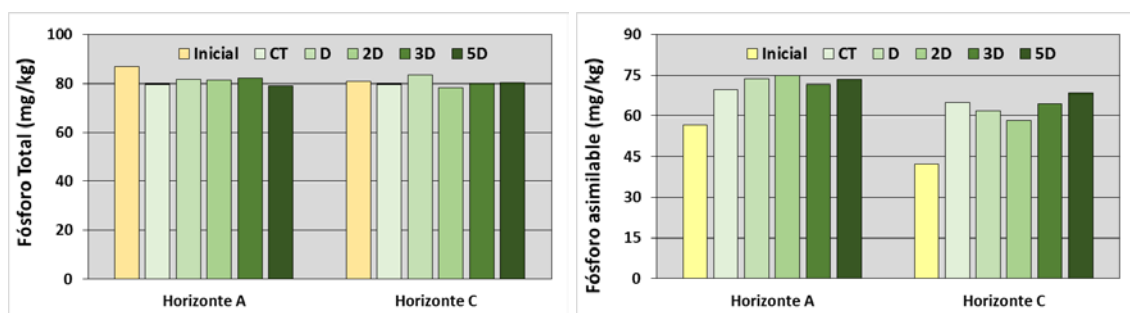
Por su parte, el nitrógeno total se mantiene constante entre tratamientos en el horizonte superficial, mientras que en el horizonte C se produce un aumento con la dosis de aplicación, lo que induce a pensar que se ha producido una mayor liberación de este elemento en el horizonte superficial y se ha acumulado en el subsuperficial.



Figuras 5.61 y 5.62. Porcentajes de carbono orgánico y nitrógeno total en los horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante

En las Figuras 5.63 y 5.64 se presentan los resultados de fósforo total y asimilable de los dos horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante. Como se puede apreciar el fósforo total disminuye de forma semejante entre tratamientos en el horizonte superficial, mientras que en el subsuperficial se mantiene relativamente constante, lo que indica que los fosfatos lixiviados procederían principalmente del horizonte A.

Por el contrario, el fósforo asimilable aumenta en ambos horizontes tanto en la columna control como en las tratadas siendo ligeramente superior en estas últimas, sin observarse diferencias significativas entre estas.



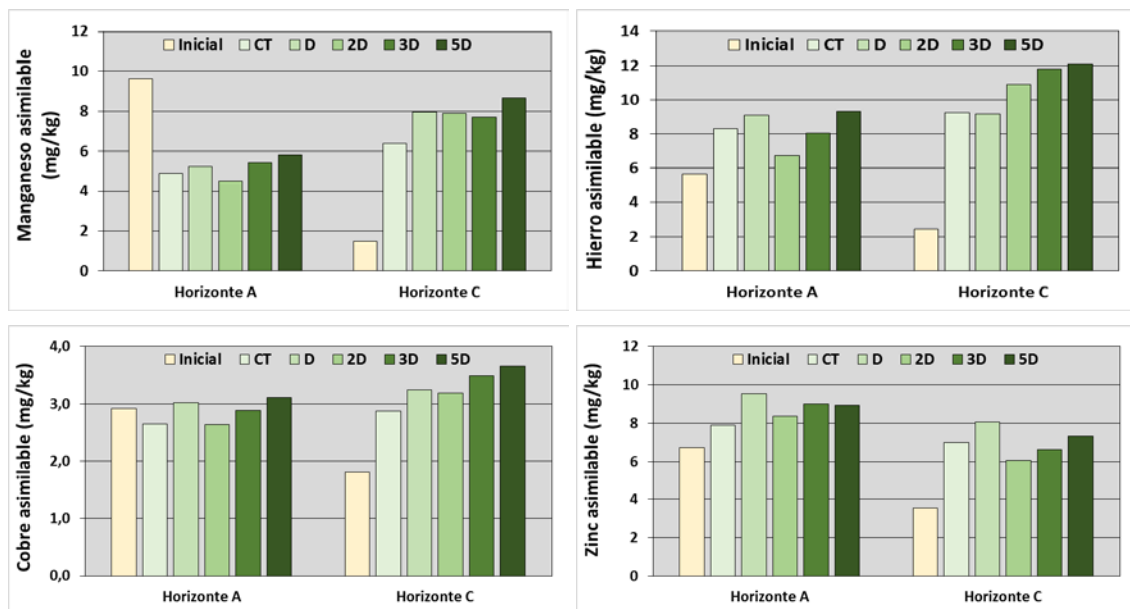
Figuras 5.63 y 5.64 Concentraciones de fósforo total y asimilable en los horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante

En las Figuras 5.65, 5.66, 5.67 y 5.68 se presentan los resultados de manganeso, hierro, zinc y cobre asimilables de los dos horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante. Como se puede apreciar el manganeso asimilable disminuye significativamente en el horizonte A al finalizar el ensayo, mientras que en el horizonte C aumenta prácticamente en las mismas proporciones, lo que induce a pensar

que se ha producido una alta liberación de este elemento en superficie que se ha acumulado en profundidad, siendo este efecto ligeramente mayor en las parcelas tratadas.

Por su parte, zinc y hierro asimilables aumentan sus concentraciones en ambos horizontes tanto en la columna control como en las tratadas siendo ligeramente superior en estas últimas, sobre todo en el caso del hierro, lo que indica que el fitofortificante ha producido una liberación de hierro y zinc en toda la columna.

Finamente, en el caso del cobre asimilable, en el horizonte superficial las concentraciones se mantienen relativamente constantes, mientras que en el horizonte C aumentan significativamente indicando que el fitofortificante promueve la liberación de este elemento en toda la columna.

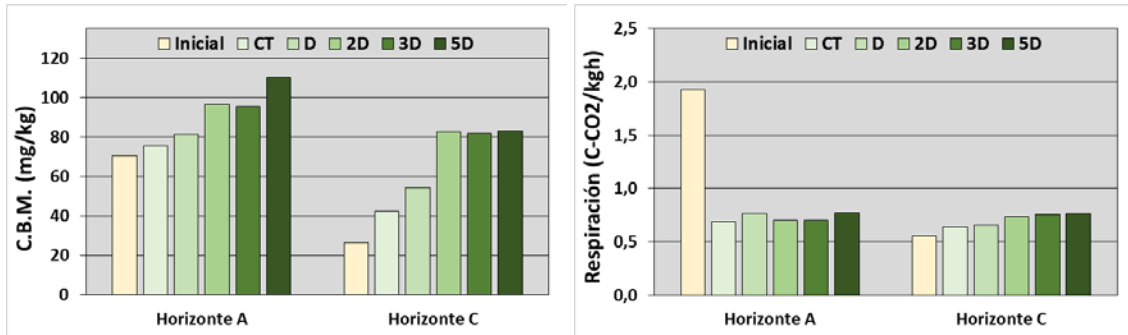


Figuras 5.65, 5.66, 5.67 y 5.68. Concentraciones de manganeso, cobre, zinc, hierro asimilables en los horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante

En las Figuras 5.69 y 5.70 se presentan los resultados de carbono de la biomasa microbiana y respiración de los dos horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante. Como se puede apreciar el CBM aumenta de forma significativa en las columnas tratadas para ambos horizontes, siendo este mayor a medida que aumentamos la dosis de aplicación, lo que indica que las bacterias se han distribuido por toda la columna aunque los mayores valores se observan en el horizonte superficial.

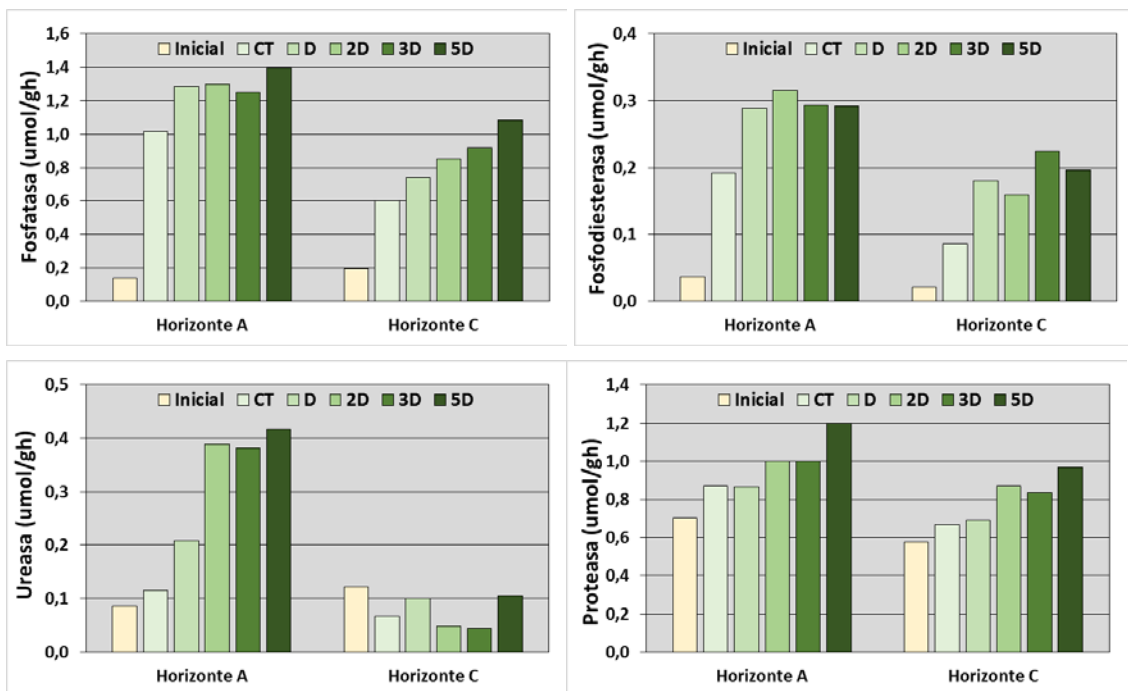
Por el contrario, la respiración ha disminuido significativamente en el horizonte superficial, mientras que se mantiene constante en el horizonte C, lo que indica que al

finalizar el ensayo los microorganismos a pesar de aumentar en cantidad reducen su actividad.



Figuras 5.69 y 5.70. Valores de CBM y respiración en los horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante

En las Figuras 5.71, 5.72, 5.73 y 5.74 se presentan los resultados de actividad fosfatasa, fosfodiesterasa, ureasa y proteasa de los dos horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante. Como se puede apreciar, todas las actividades enzimáticas estudiadas aumentan sus valores al finalizar el ensayo de lixiviación en ambos horizontes, a excepción de la actividad ureasa en el horizonte C, observándose un incremento a medida que aumentamos la dosis de aplicación en la mayor parte de los casos.



Figuras 5.71, 5.72, 5.73 y 5.74. Valores de actividad fosfatasa, fosfodiesterasa, ureasa y proteasa en los horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante

Suelos del cultivo de maíz

Evolución de las propiedades físico-químicas: pH, Eh y CE (salinidad)

En la Figura 5.75 se presentan la evolución de los valores de pH para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede apreciar no existen diferencias entre tratamientos, produciéndose grandes aumentos y disminuciones del pH hasta la 8ª lixiviación para fluctuar de manera aleatoria entre 7,8 y 8,5, con tendencia a estabilizarse a medida que aumenta el número de lixiviaciones.

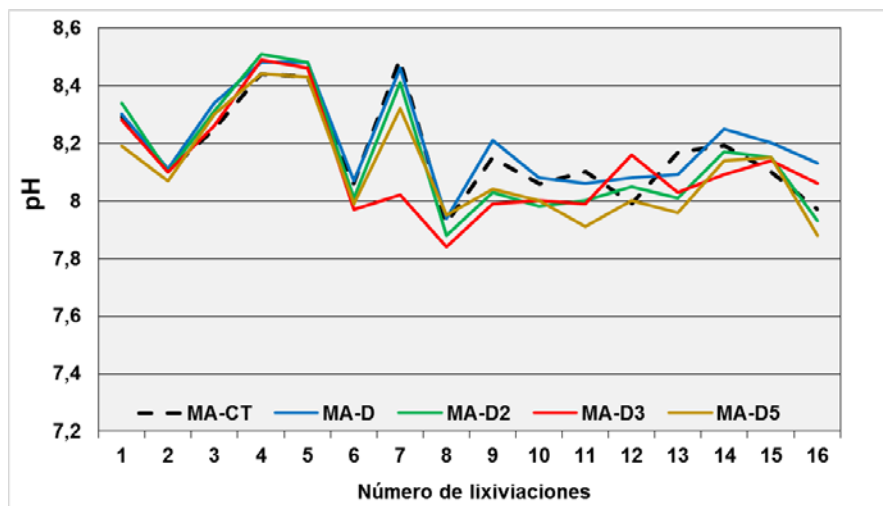


Figura 5.75. Evolución del pH en columnas de lixiviación a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

En la Figura 5.76 se presentan la evolución de los valores de potencial redox para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede apreciar existen diferencias entre tratamientos hasta la 10ª lixiviación, donde los valores de Eh fluctúan sin ningún patrón específico, a partir de la cual el potencial redox es semejante tanto en la columna control como en las tratadas.

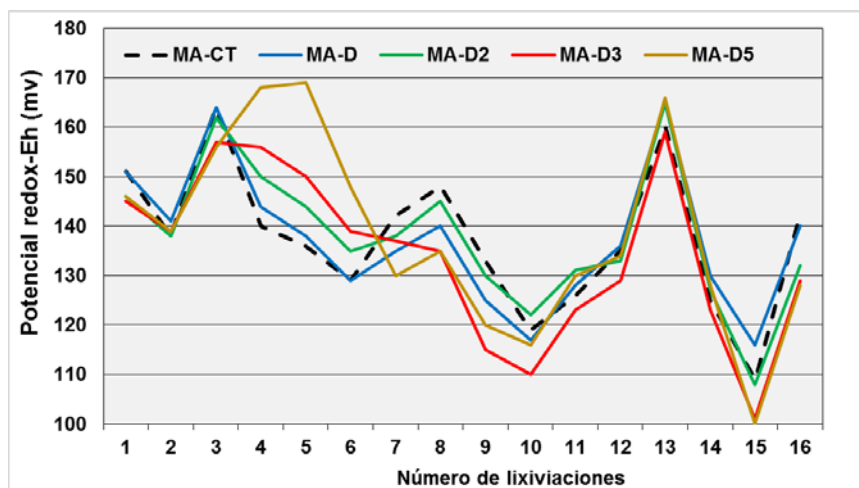


Figura 5.76. Evolución del potencial redox en columnas de lixiviación a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

En la Figura 5.77 se presenta la evolución de los valores de conductividad eléctrica para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede ver la salinidad decrece rápidamente con las lixiviaciones en todos los tratamientos, siendo inferior en las columnas tratadas con respecto a la control. Sin embargo, a partir de la 12^o lixiviación se produce una estabilización donde todos los tratamientos presentan valores semejantes, indicando que la mayor parte de las sales solubles ha sido lavada de la columna.

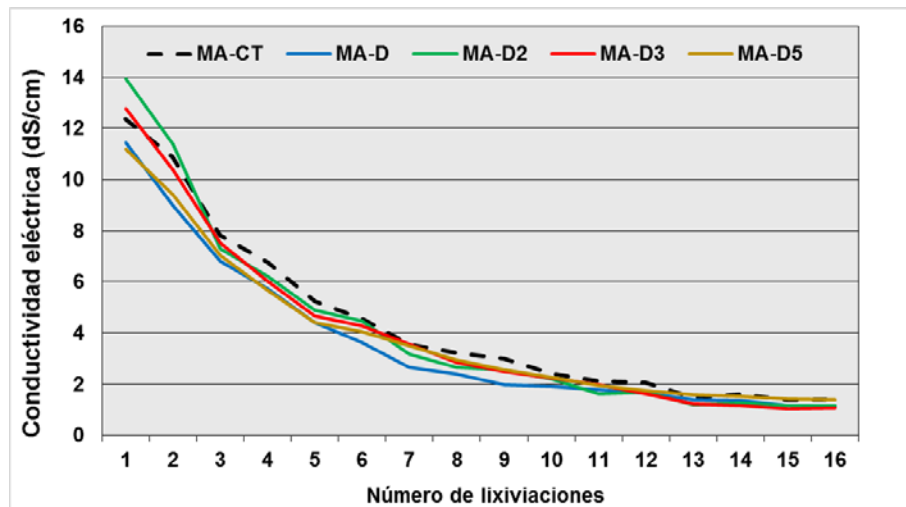
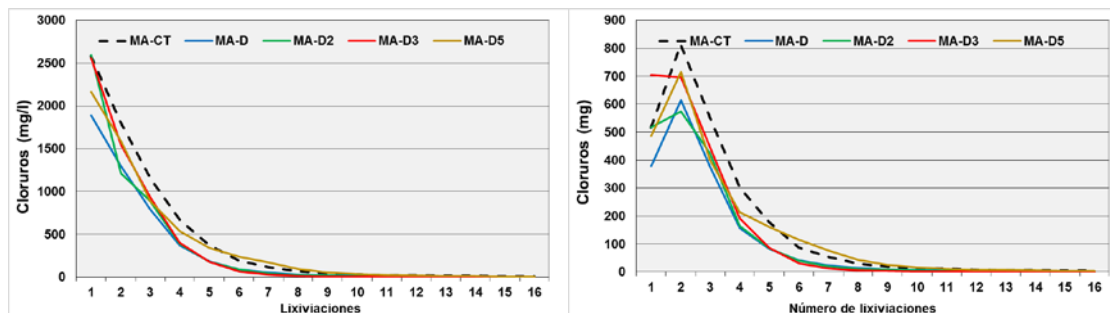
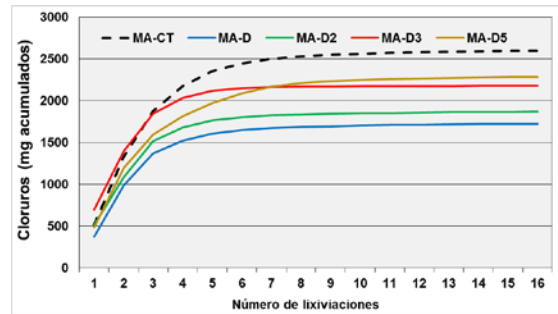


Figura 5.77. Evolución de la salinidad (conductividad eléctrica) en columnas de lixiviación a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

Evolución de las concentraciones y cantidades acumuladas de aniones

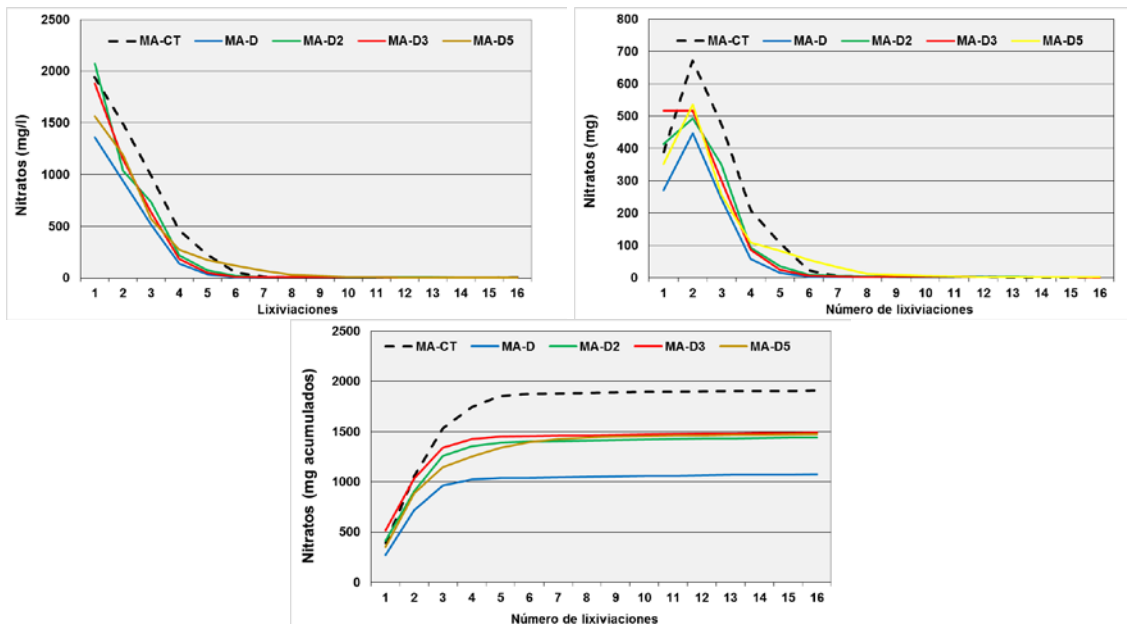
En las Figuras 5.78, 5.79 y 5.80 se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de cloruros lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, los valores decrecen rápidamente con las primeras lixiviaciones, hasta la 6^o lixiviación, donde las concentraciones de cloruros son prácticamente inapreciables. Este lavado se produce con mayor intensidad en las columnas control, con valores acumulados de 2500 mg, mientras que las columnas tratadas en todos los casos están por debajo de 2400 mg de cloruro.





Figuras 5.78, 5.79 y 5.80. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de cloruros en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

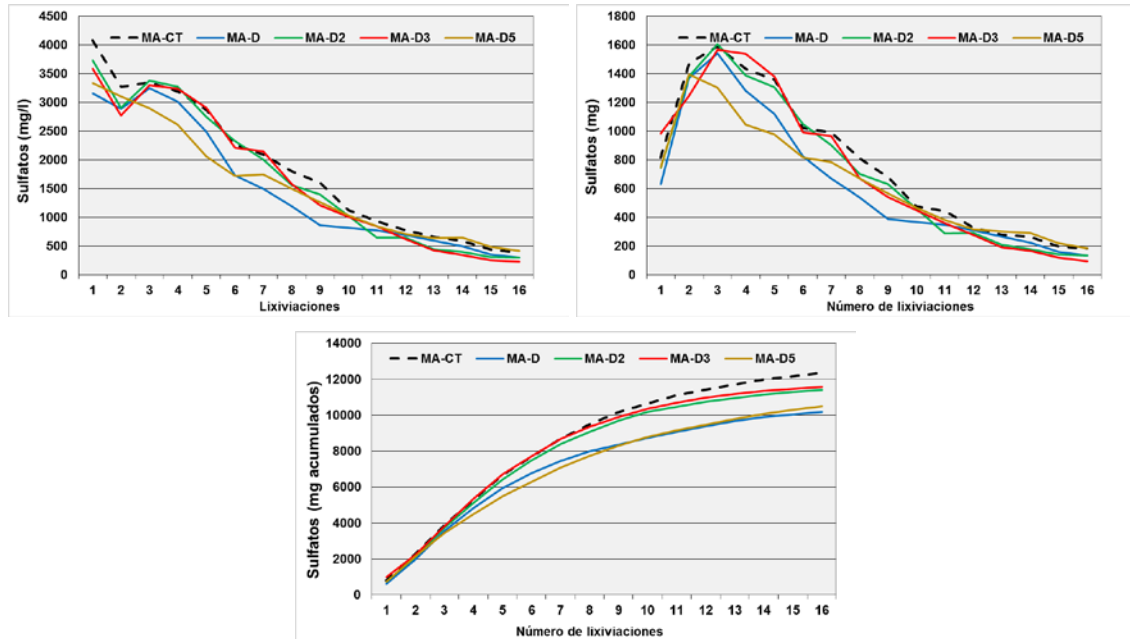
En las Figuras 5.81, 5.82 y 5.83 se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de nitratos lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, los valores decrecen rápidamente con las primeras lixiviaciones, hasta la 6ª lixiviación, donde las concentraciones de nitratos son prácticamente inapreciables. Al igual que en el caso de los cloruros, este lavado se produce con mayor intensidad en las columnas control, con valores acumulados de 1900 mg, mientras que en las columnas tratadas los valores están por debajo de 1500 mg.



Figuras 5.81, 5.82 y 5.83. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de nitratos en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

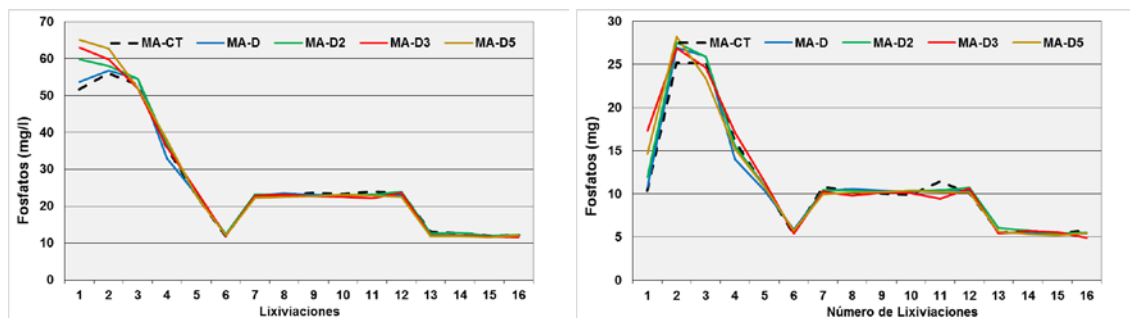
En las Figuras 5.84, 5.85 y 5.86 se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de sulfatos lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, al contrario que en los dos casos anteriores, los valores de sulfatos lixiviados decrecen de forma progresiva durante todo el periodo del ensayo, lo que indica que es un anión menos móvil. Al igual que en los casos

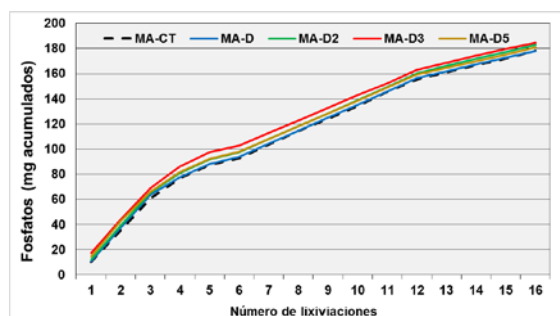
anteriores, todos los tratamientos promueven una liberación de sulfatos menor que la columna control.



Figuras 5.84, 5.85 y 5.86. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de sulfatos en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

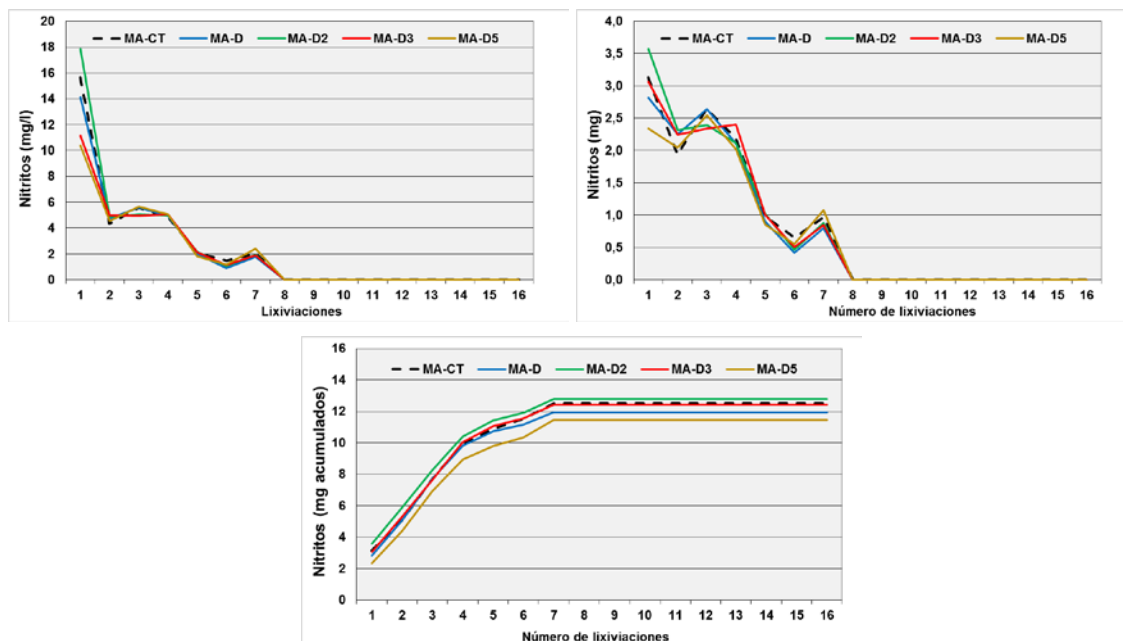
En las Figuras 5.87, 5.88 y 5.89 se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de fosfatos lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, los valores de fosfatos lixiviados decrecen siguiendo un patrón con tres etapas, desde el inicio con valores cercanos a 60 mg/l decrece a valores próximos a 10 mg/l, para mantenerse en 22 mg/l hasta la 12^o, para bajar nuevamente hasta los 10 mg/l hasta el final del ensayo. En este caso, todos los tratamientos promueven una liberación de fosfatos ligeramente mayor que la columna control.





Figuras 5.87, 5.88 y 5.89. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de fosfatos en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

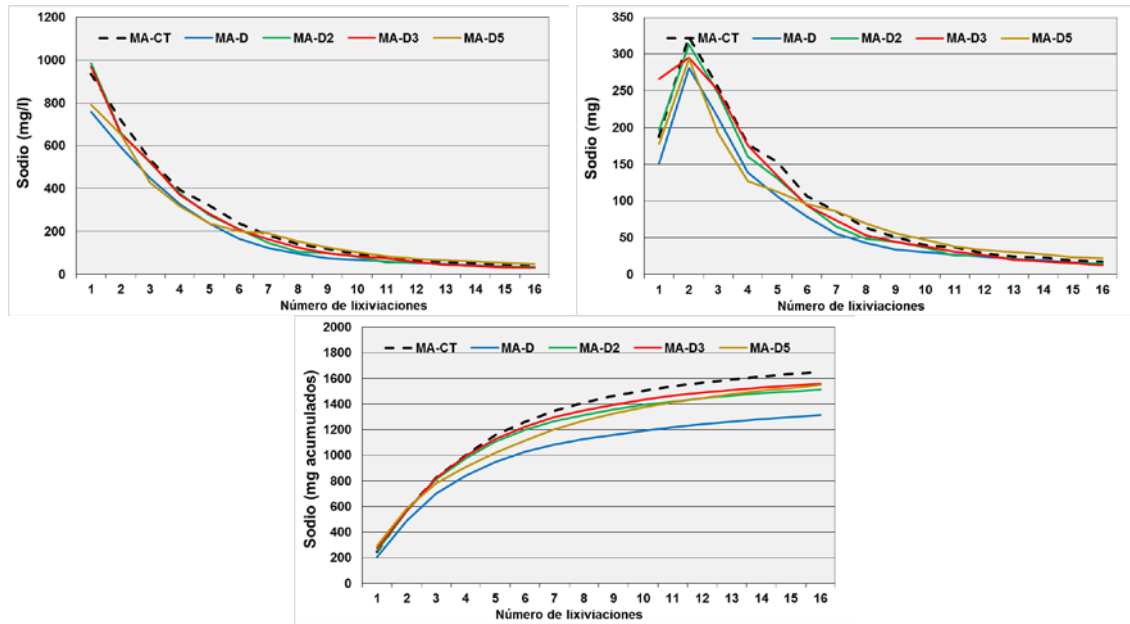
En las Figuras 5.90, 5.91 y 5.92 se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de nitritos lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, los valores decrecen rápidamente con las dos primeras lixiviaciones, para disminuir progresivamente hasta la 8ª lixiviación, donde las concentraciones de nitritos son prácticamente inapreciables.



Figuras 5.90, 5.91 y 5.92. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de nitritos en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

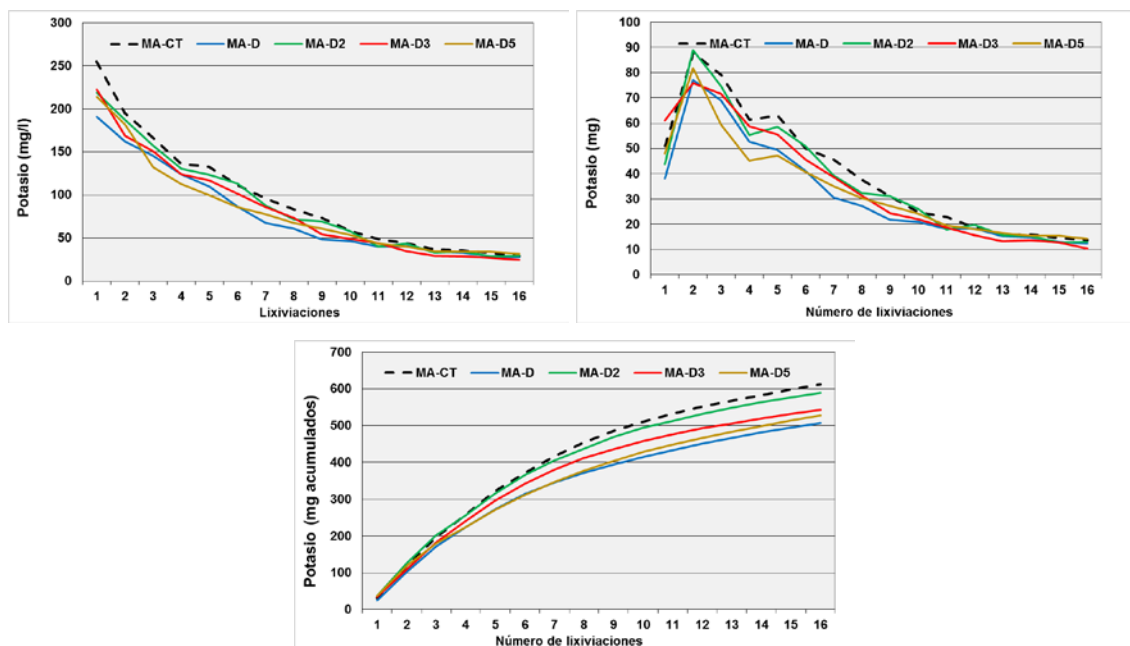
Evolución de las concentraciones y cantidades acumuladas de cationes

En las Figuras 5.93, 5.94 y 5.95 se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de sodio lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, los valores decrecen progresivamente con las lixiviaciones, hasta alcanzar concentraciones de sodio muy reducidas en los últimos eventos de lixiviación. Las mayores concentraciones de sodio lixiviadas corresponden con las primeras lixiviaciones, siendo mayores en la columna control que en las columnas tratadas.



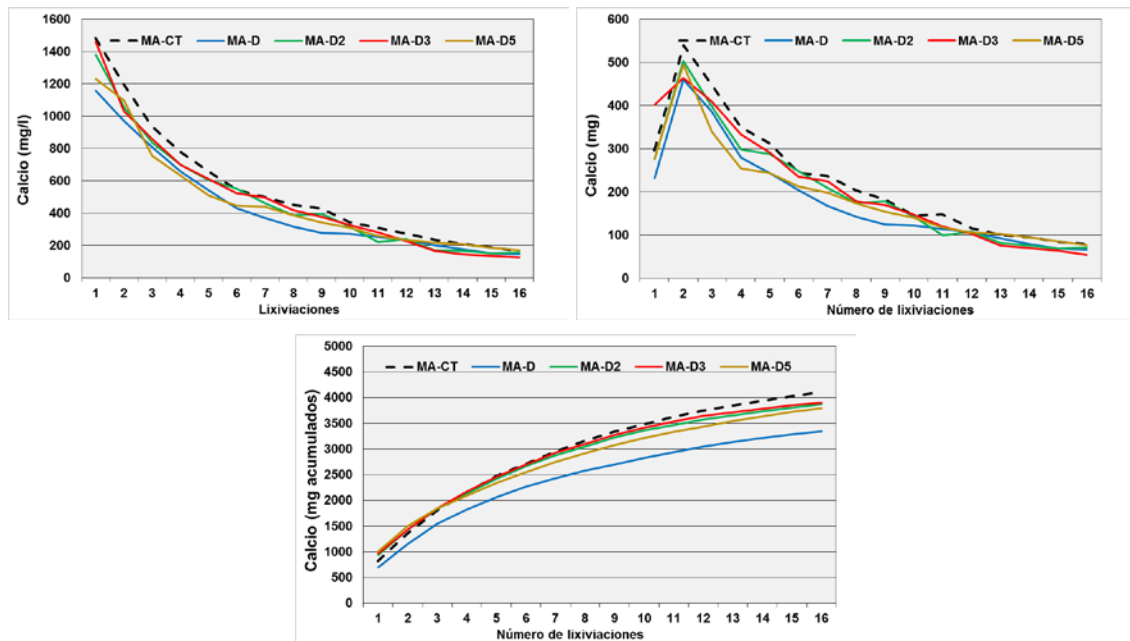
Figuras 5.93, 5.94 y 5.95. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de sodio en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

En las Figuras 5.96, 5.97 y 5.98 se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de potasio lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, el patrón de distribución es semejante al del sodio, cuyos valores decrecen progresivamente con las lixiviaciones, hasta alcanzar concentraciones de potasio reducidas en los últimos eventos de lixiviación. Las mayores concentraciones de potasio lixiviadas corresponden con las primeras lixiviaciones, siendo mayores en la columna control que en las columnas tratadas.



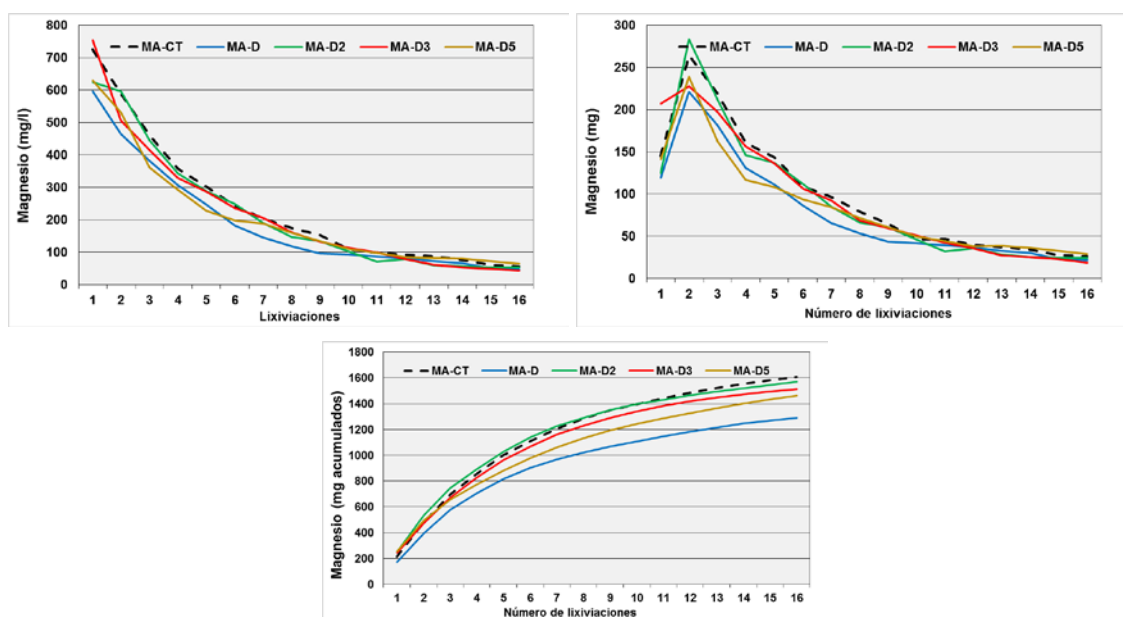
Figuras 5.99, 5.100 y 5.101. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de potasio en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

En la Figura 5.102, 5.103 y 5.104 se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de calcio lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, el patrón de distribución es semejante al del potasio, cuyos valores decrecen progresivamente con las lixiviaciones, hasta alcanzar concentraciones de calcio reducidas en los últimos eventos de lixiviación. Las mayores concentraciones de calcio lixiviadas corresponden con las primeras lixiviaciones, siendo mayores en la columna control que en las columnas tratadas.



Figuras 5.102, 5.103 y 5.104. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de calcio en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

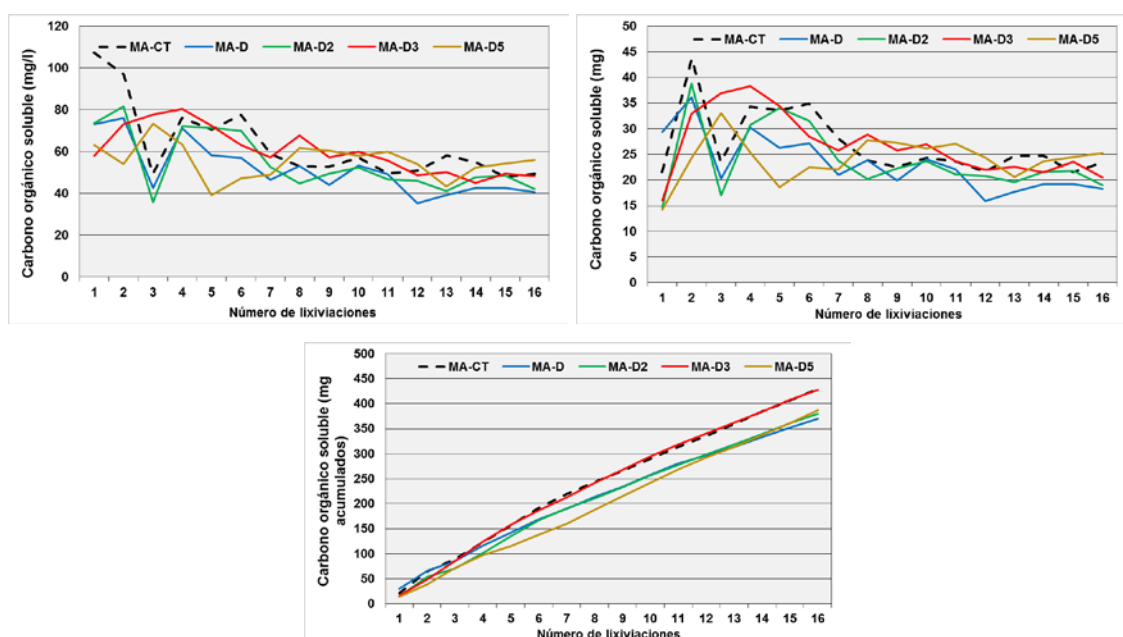
En las Figuras 5.105, 5.106 y 5.107 se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de magnesio lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, el patrón de distribución es semejante al del calcio, cuyos valores decrecen progresivamente con las lixiviaciones, hasta alcanzar concentraciones de magnesio reducidas en los últimos eventos de lixiviación. Las mayores concentraciones de magnesio lixiviadas corresponden con las primeras lixiviaciones, siendo mayores en la columna control que en las columnas tratadas.



Figuras 5.105, 5.106 y 5.107. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de magnesio en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

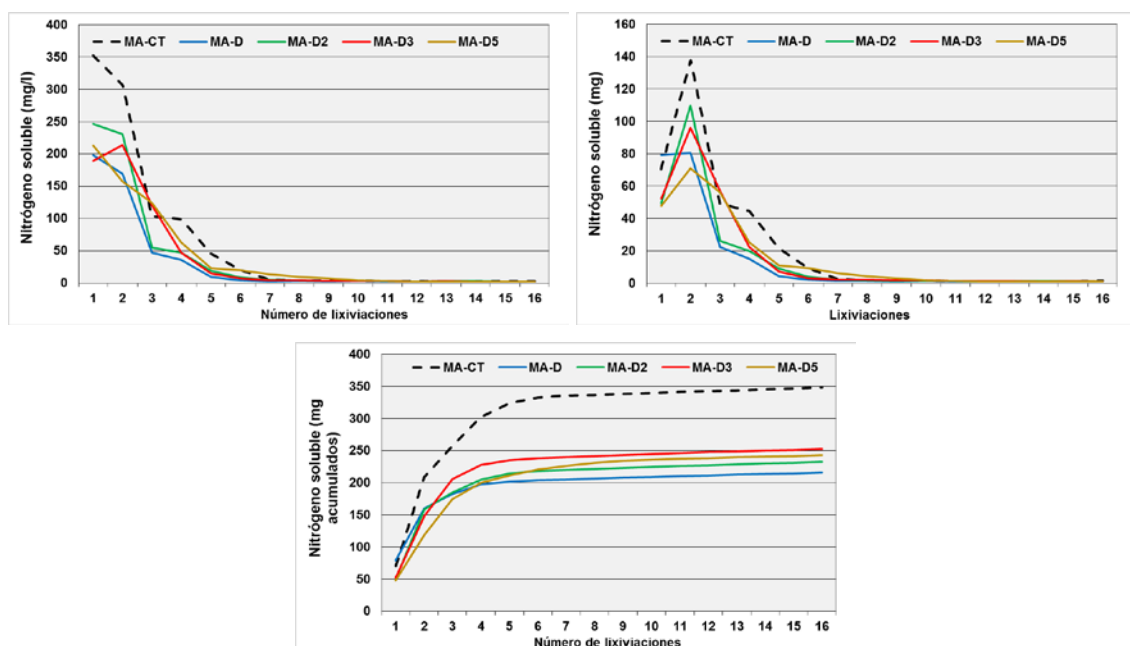
Evolución de las concentraciones y cantidades acumuladas de carbono orgánico soluble y nitrógeno soluble

En las Figuras 5.108, 5.109 y 5.110 se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de carbono orgánico soluble lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, las concentraciones de carbono soluble lixiviados decrecen rápidamente en las 3 primeras lixiviaciones para hacerlo de forma progresiva hasta el final del ensayo. En este caso, todos los tratamientos promueven una liberación de carbono orgánico soluble igual o inferior que la columna control.



Figuras 5.108, 5.109 y 5.110. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de carbono orgánico soluble en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

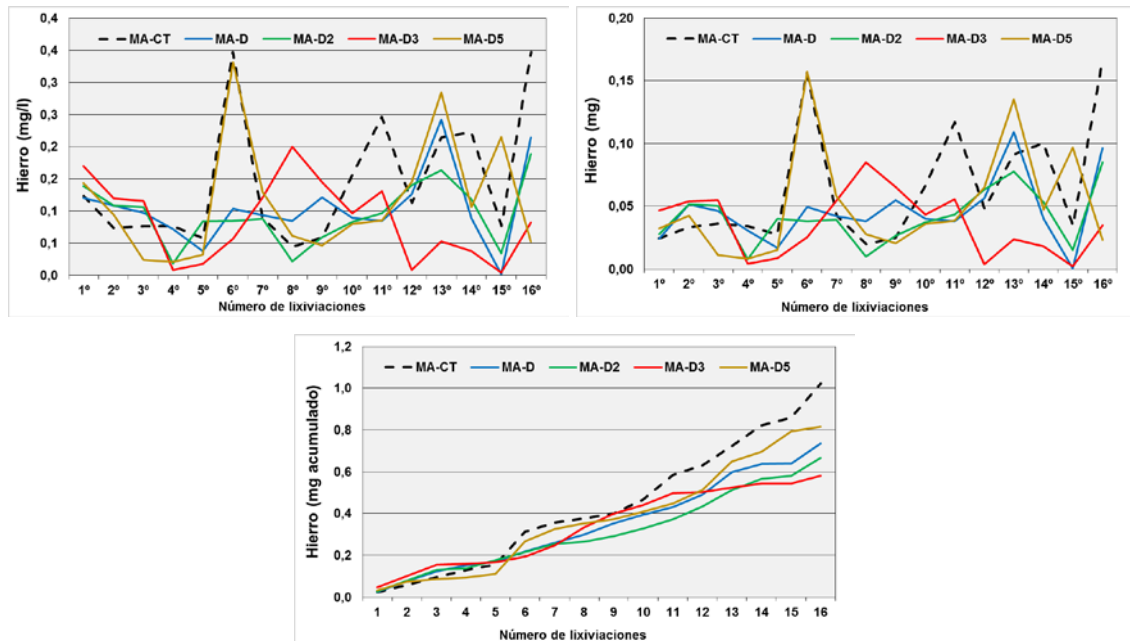
En las Figuras 5.111, 5.112 y 5.113. se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de nitrógeno soluble lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, los valores decrecen rápidamente con las primeras lixiviaciones, hasta la 6ª lixiviación, donde las concentraciones de nitrógeno soluble son prácticamente inapreciables. Al igual que en el caso de los nitratos, las mayores concentraciones y cantidades se observan en la columna control, lixivando hasta 350 mg, mientras que en las tratadas se encuentran por debajo de 250 mg.



Figuras 5.111, 5.112 y 5.113. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de nitrógeno soluble en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

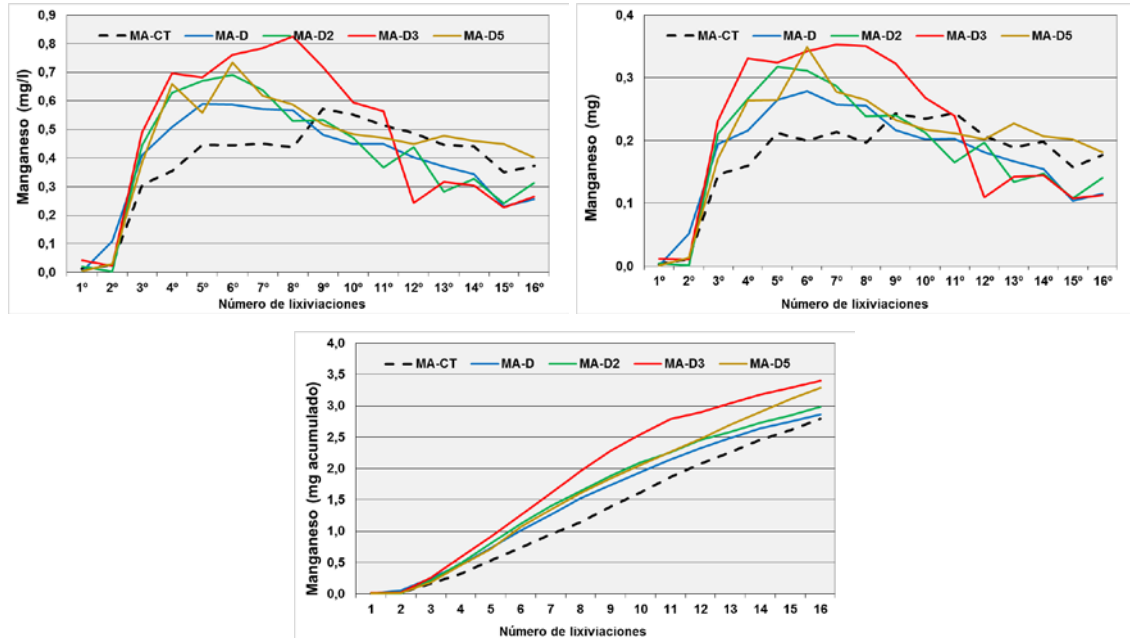
Evolución de las concentraciones y cantidades acumuladas de micronutrientes

En las Figuras 5.114, 5.115 y 5.116. se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de hierro lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede apreciar, tanto las concentraciones como las cantidades de hierro de los lixiviados fueron bajas y fluctuaron aleatoriamente entre tratamientos. Sin embargo, teniendo en cuenta la cantidad acumulada, fue el tratamiento control el que presentó los mayores valores de hierro lixiviado, alcanzando 1 mg.



Figuras 5.114, 5.115 y 5.116. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de hierro en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

En las Figuras 5.117, 5.118 y 5.119 se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de manganeso lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante.

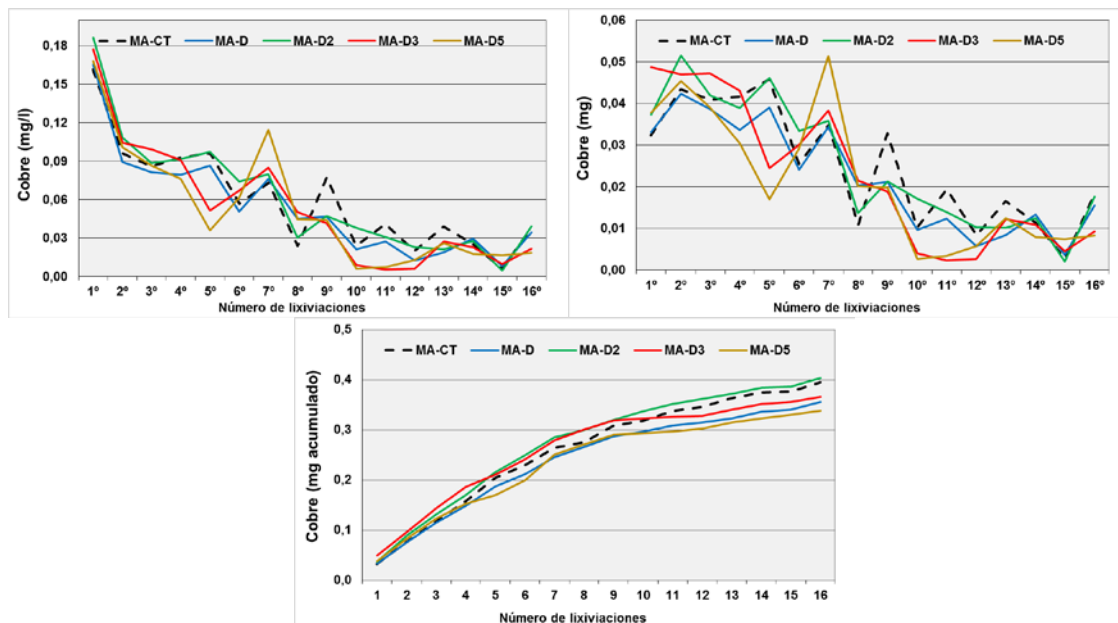


Figuras 5.117, 5.118 y 5.119. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de manganeso en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

Como se puede apreciar, durante las dos primeras lixiviaciones, tanto las concentraciones como las cantidades de manganeso de los lixiviados fueron muy bajas y semejantes entre tratamientos. Sin embargo, a partir de la 3ª lixiviación se produce un aumento en dichas concentraciones y cantidades, siendo mayores a medida que

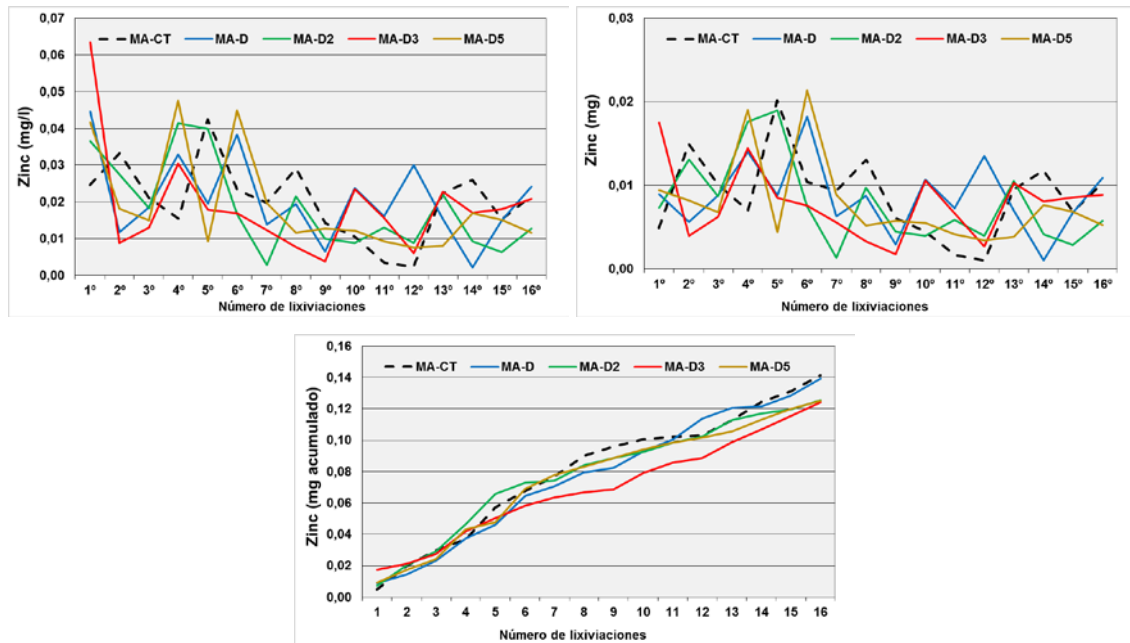
aumentaba la dosis del fitofortificante aplicada, lo que indica que las bacterias aportadas comienzan a liberar este nutriente, pasando de cantidades acumuladas de 2,7 mg de hierro en la columna control a 3,5 mg en la dosis 3D.

En las Figuras 5.120, 5.121 y 5.122 se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de cobre lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, los valores de cobre lixiviados decrecen de forma progresiva durante todo el periodo del ensayo sin observarse diferencias significativas entre tratamientos. En este caso, todos los tratamientos promueven una liberación de cobre inferior a la columna control, excepto la dosis 2D, por lo que indicaría que las bacterias aportadas no favorecen la liberación de cobre.



Figuras 5.120, 5.121 y 5.122 Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de cobre en los lixivios a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

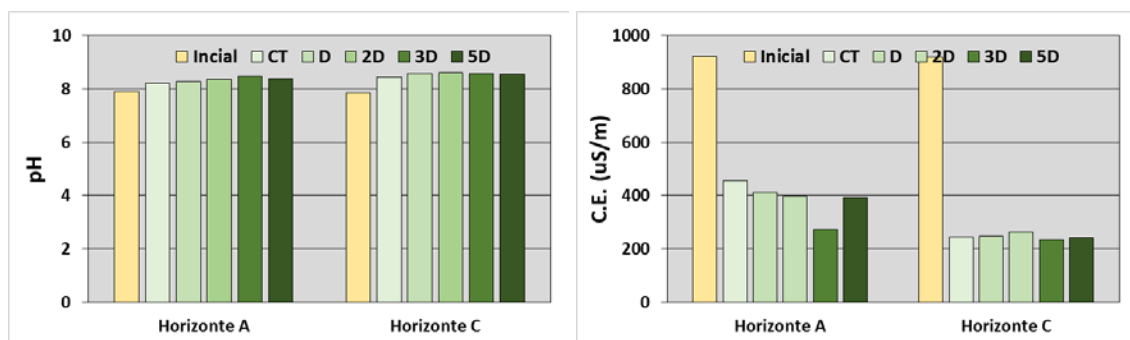
En las Figuras 5.123, 5.124 y 5.125 se presentan la evolución de las concentraciones y las cantidades acumuladas de zinc lixiviados para las diferentes dosis aplicadas del fitofortificante. Como se puede observar, las concentraciones de zinc soluble lixiviadas decrecen rápidamente en las 2 primeras lixiviaciones para ir decreciendo hasta el final del ensayo pero con ciertas fluctuaciones. En este caso, todos los tratamientos promueven una liberación de zinc soluble menor que la columna control, excepto la dosis D que es semejante.



Figuras 5.123, 5.124 y 5.125. Evolución de la concentración y la cantidad acumulada de zinc en los lixiviados a diferentes dosis de aplicación del fitofortificante

Evaluación de las propiedades físico-químicas de los horizontes de las columnas

En las Figuras 5.126 y 5.127 se presentan los resultados de pH y CE de los dos horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante. Como se puede apreciar el suelo de todas las columnas aumenta su pH ligeramente después del ensayo de lixiviación; mientras que la salinidad disminuye desde valores cercanos a 900 $\mu\text{S}/\text{m}$ a valores inferiores a 400 $\mu\text{S}/\text{m}$ debido a la lixiviaciones de las sales, no observándose diferencias significativas entre tratamientos.

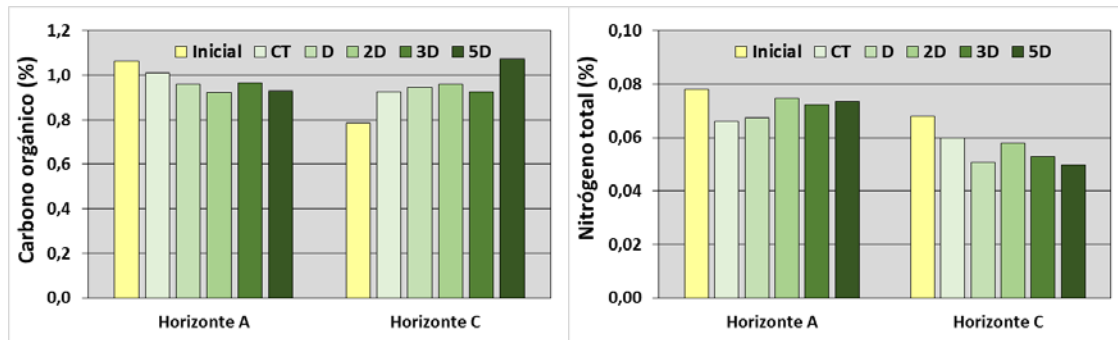


Figuras 5.126 y 5.127. Valores de pH y CE en los horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante.

En las Figuras 5.128 y 5.129 se presentan los resultados de CO y NT de los dos horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante. Como se puede apreciar el carbono orgánico en el horizonte superficial disminuye en las columnas tratadas mientras que en el horizonte C se produce un aumento con la dosis de

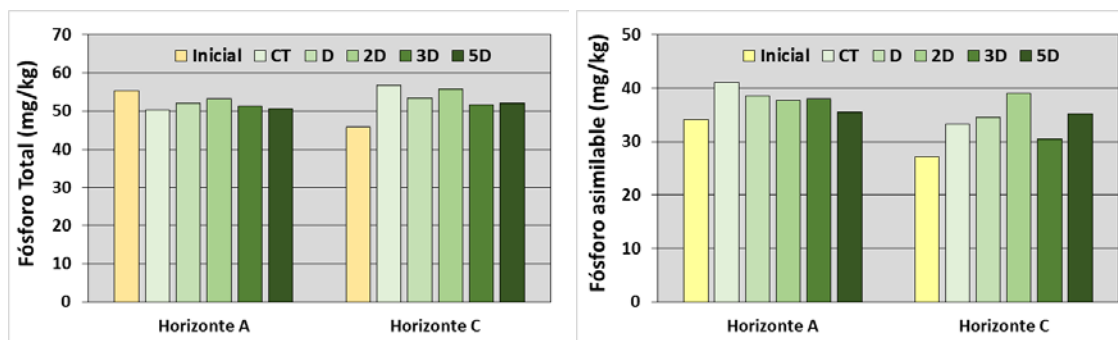
aplicación, lo que induce a pensar que se ha producido una mayor liberación de este elemento en el horizonte superficial y se ha acumulado en el subsuperficial.

Por su parte, el nitrógeno total disminuye en las columnas tratadas tanto en el horizonte superficial como en el subsuperficial, indicando que se ha producido un lavado en forma de nitratos, nitritos y nitrógeno orgánico soluble en las columnas tratadas.



Figuras 5.128 y 5.129. Porcentajes de carbono orgánico y nitrógeno total en los horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante

En las Figuras 5.130 y 5.131 se presentan los resultados de fósforo total y asimilable de los dos horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante. Como se puede apreciar el fósforo total disminuye de forma semejante entre tratamientos en el horizonte superficial, mientras que en el subsuperficial aumenta, lo que indica que los fosfatos lixiviados procedentes del horizonte A se acumulan en el horizonte C. Por el contrario, el fósforo asimilable aumenta en ambos horizontes tanto en la columna control como en las tratadas, sin observarse diferencias significativas entre estas.

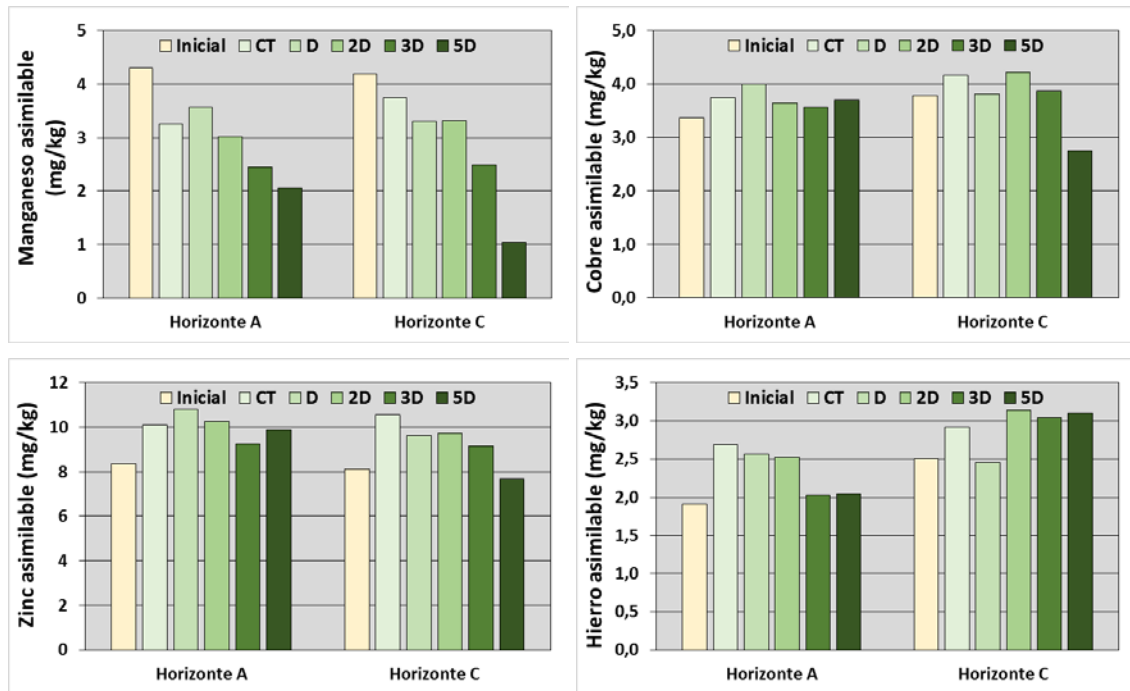


Figuras 5.130 y 5.131. Concentraciones de fósforo total y asimilable en los horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante

En las Figuras 5.132, 5.133, 5.134 y 4.135 se presentan los resultados de manganeso, hierro, zinc y cobre asimilables de los dos horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante. Como se puede apreciar el manganeso

asimilable disminuye significativamente tanto en el horizonte A como en el C al finalizar el ensayo, indicando que gran parte de este es lavado durante la lixiviación.

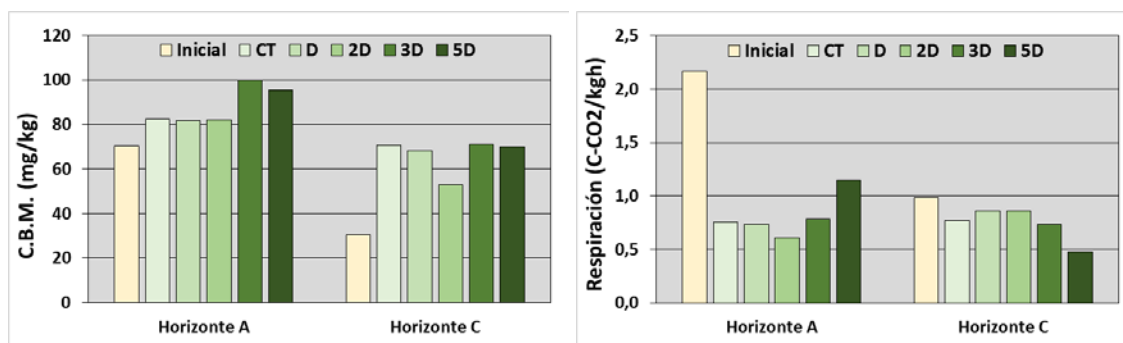
Por su parte, zinc, cobre y hierro asimilables aumentan sus concentraciones en ambos horizontes tanto en la columna control como en las tratadas siendo ligeramente superior en estas últimas, lo que indica que el fitofortificante ha producido una liberación de hierro, cobre y zinc en toda la columna.



Figuras 5.132, 5.133, 5.134 y 4.135. Concentraciones de manganeso, cobre, zinc, hierro asimilables en los horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante

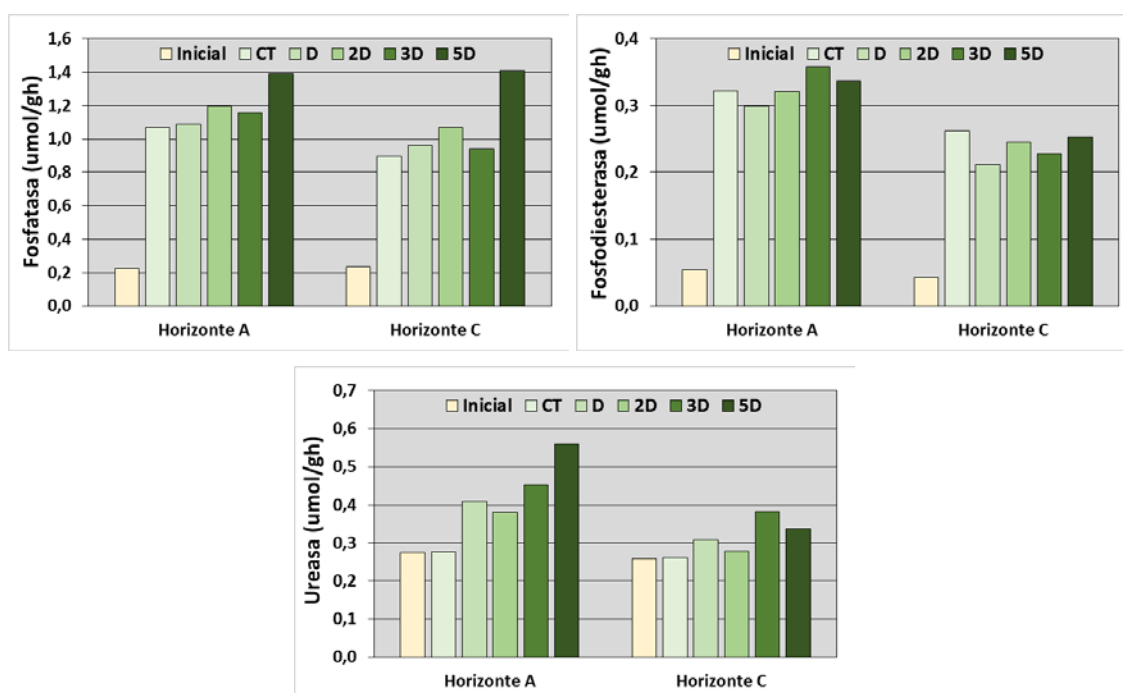
En las Figuras 5.136 y 5.137 se presentan los resultados de carbono de la biomasa microbiana y respiración de los dos horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante. Como se puede apreciar el CBM aumenta de forma significativa en las columnas tratadas para ambos horizontes, siendo este mayor a medida que aumentamos la dosis de aplicación, lo que indica que las bacterias se han distribuido por toda la columna aunque los mayores valores se observan en el horizonte superficial.

Por el contrario, la respiración ha disminuido significativamente en el horizonte superficial, mientras que se mantiene relativamente constante en el horizonte C, lo que indica que al finalizar el ensayo los microorganismos a pesar de aumentar en cantidad reducen su actividad.



Figuras 5.136 y 5.137. Valores de CBM y respiración en los horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante

En las Figuras 5.138, 5.139 y 5.140 se presentan los resultados de actividad fosfatasa, fosfodiesterasa y ureasa de los dos horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante. Como se puede apreciar, todas las actividades enzimáticas estudiadas aumentan sus valores al finalizar el ensayo de lixiviación en ambos horizontes, observándose un incremento a medida que aumentamos la dosis de aplicación en la mayor parte de los casos.



Figuras 5.138, 5.139 y 5.140. Valores de actividad fosfatasa, fosfodiesterasa y ureasa en los horizontes de las columnas tratadas con diferentes dosis del fitofortificante

5.4. Conclusiones

Suelo del cultivo de melón

- El pH de los lixiviados no se ve afectado por el tratamiento.

- Los valores del **potencial redox** de los lixiviados indican que las bacterias promueven las condiciones oxidantes, es decir, la oxigenación en las columnas y en consecuencia del suelo.
- La **salinidad** decrece rápidamente con las lixiviaciones en todos los tratamientos, observándose los mayores valores en el tratamiento con la dosis 3D. Sin embargo, a partir de la 6ª lixiviación se produce una estabilización donde todos los tratamientos presentan valores semejantes.
- La aplicación del fitofortificante incrementa la lixiviación de los **cloruros, nitratos y nitritos; sodio, calcio, magnesio, amonio, y nitrógeno soluble**, los cuales decrecen rápidamente con las primeras lixiviaciones.
- Todos los tratamientos promueven una liberación de **sulfatos y fosfatos** mayor que la columna control, siendo esta mayor a medida que la dosis del fitofortificante aumenta, sin embargo su liberación es más progresiva que en los casos anteriores.
- Las concentraciones de **potasio** decrecen rápidamente en los primeros eventos de lixiviación, para seguir disminuyendo de forma progresivamente desde la 5ª lixiviación hasta el final del ensayo. Hasta la 4ª lixiviación las dosis más elevadas del fitofortificante promueven una mayor liberación de potasio, sin embargo a partir de ésta las concentraciones lixiviadas de potasio decrecen incluso por debajo del tratamiento control
- Los resultados indican que las bacterias actuarían progresivamente degradando los compuestos orgánicos del suelo dando lugar formas más solubles (**carbono orgánico soluble**) que son lixiviadas con los sucesivos riegos.
- Los resultados indican que las bacterias aportadas incrementan la liberación de **hierro, manganeso y zinc** una vez han sido movilizados los macronutrientes (Ca, Mg y K).
- Los valores de **cobre** lixiviados decrecen de forma progresiva durante todo el periodo del ensayo sin observarse diferencias significativas entre tratamientos, por lo que las bacterias aportadas no favorecen la liberación de este elemento.

Suelo del cultivo de maíz de Yehar

- El **pH** y el potencial redox de los lixiviados no se ve afectado por el tratamiento.
- La **salinidad** decrece rápidamente con las lixiviaciones en todos los tratamientos, siendo inferior en las columnas tratadas con respecto a la control.

- La aplicación del fitofortificante disminuye la lixiviación de los **cloruros, sulfatos, nitratos y nitritos; sodio, calcio, magnesio, potasio, y carbono orgánico y nitrógeno soluble**.
- Todos los tratamientos promueven una liberación de **fosfatos** mayor que la columna control.
- Los resultados indican que las bacterias aportadas no incrementan la liberación de **hierro, cobre y zinc** en los lixiviados, por el contrario el **manganeso** si se ve incrementado con la aplicación del fitofortificante.

6. Efecto del fitofortificante en la producción y calidad del cultivo de melón bajo condiciones de cultivo comerciales

6.1. Objetivos

Objetivo general

El objetivo de este capítulo es la evaluación del efecto de la aplicación del fitofortificante (*Pseudomonas fluorescens*) en las propiedades físico-químicas y microbiológicas/bioquímicas del suelo rizosférico implicadas en la dinámica de nutrientes en el sistema suelo-planta, así como su efecto en la calidad y producción del cultivo de melón a escala comercial.

Los objetivos específicos son:

1. Estudio del efecto del fortificante en las propiedades físico-químicas y microbiológicas/bioquímicas del suelo rizosférico.
2. Estudio del efecto del fortificante en la liberación de nutrientes en el suelo.
3. Estudio del efecto del fortificante en la distribución de nutrientes en el cultivo.
4. Estudio del efecto de las bacterias fortificantes en los parámetros de calidad y producción del cultivo.

6.2. Material y métodos

Zona de estudio

La parcela de estudio se encuentra en el Campo de Cartagena, en una zona de producción agrícola cercana a la pedanía de El Jimenado, Municipio de Torre Pacheco (Figura 6.1).



Figura 6.1. Localización de la parcela experimental

El clima del Campo de Cartagena podría definirse como árido, cuyo índice de aridez se ve incrementado en dirección Sureste a Noroeste. La temperatura media anual es de 17,5 °C, con una pluviometría media anual cercana a los 300 mm, con un déficit

hídrico (diferencia entre la evapotranspiración potencial y la precipitación) que puede variar entre 800 y 1400 mm.

El siguiente climograma (Figura 6.2) muestra la variación de las medias de temperatura (°C) y precipitaciones (mm) de la zona del Aeropuerto de San Javier, en el período de 1981-2010.

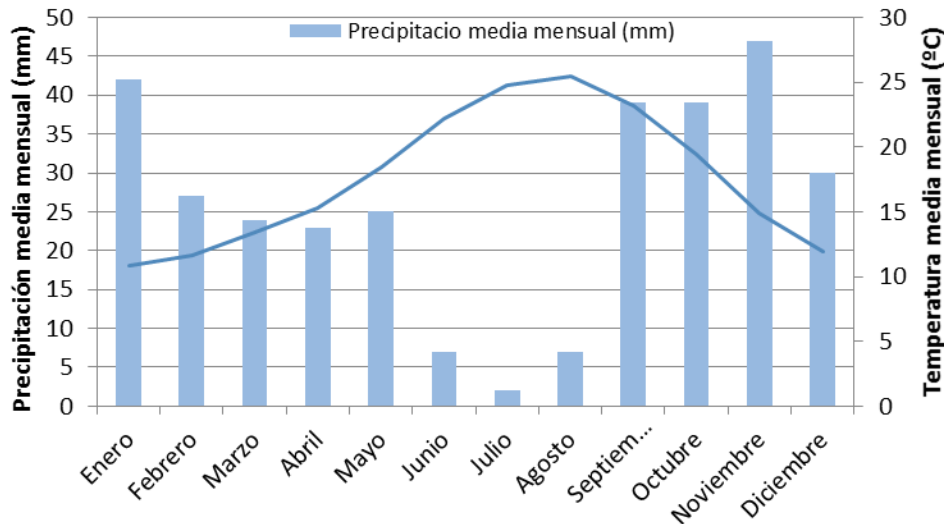


Figura 6.2. Climograma de la zona de estudio

Si analizamos las precipitaciones, estas son escasas y de distribución irregular a lo largo del año. La cantidad media de lluvia recogida durante todo el año es de 313 mm, lo que es propio del clima mediterráneo seco. Las precipitaciones máximas suceden en los meses más fríos (Noviembre y Enero), mientras que los meses más secos son los de verano (Junio, Julio y Agosto).

En relación a las temperaturas, la media anual es alta (17,6°C). La temperatura media anual de este tipo de clima varía entre los 15°C y los 18°C, por lo que, la zona posee unas temperaturas típicas de clima mediterráneo. Las temperaturas mínimas suceden en los meses de invierno (Diciembre y Enero); mientras que las máximas se ubican en los meses centrales del año (Junio, Julio y Agosto).

Con los datos observados se puede determinar que se trata de un clima mediterráneo seco, semiárido. Con inviernos suaves y veranos calurosos, propio del sureste español (zonas de Murcia, Alicante y Almería).

La ETP_o, precipitaciones y temperaturas del periodo de cultivo (01/04/2016 – 31/07/2016) se muestran en la siguiente tabla (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. Resumen de parámetros ambientales en el periodo de cultivo de 01/04/2016 a 31/07/2016

	Mínimo	Media	Máximo	Total
ETPo (mm)	2,1	5,08	7,62	619,78
Precipitaciones (mm)	0	0,22	15,6	27,2
Temperatura media (°C)	11,56	20,48	28,46	

Según la tabla anterior, se puede ver como la evapotranspiración en el periodo de cultivo es mucho más elevada que las precipitaciones durante todo el ciclo (619 y 27,2 mm respectivamente), con temperaturas media de 20,5 °C y máximas de 28,5 °C.

Diseño experimental

El diseño experimental en campo consistió en la delimitación de 6 parcelas experimentales de 150 m² cada una. En tres de ellas se aplicaron bacterias (*Pseudomonas fluorescens*) en la dosis recomendada de 1 kg ha⁻¹; mientras que otras tres fueron usadas como parcelas control (CT), donde no se llevó a cabo ninguna aplicación de dichas bacterias (Figura 6.3). En ambos casos se realizó el manejo habitual de los cultivos comerciales.

La implantación del cultivo tuvo lugar el 2 de abril de 2016, y el muestreo inicial el 11 de abril de 2016, mientras que la aplicación del fitofortificante fue el 15 de abril de 2016, todas las parcelas recibieron los tratamientos convencionales de fertilización y control fitosanitario, siendo el muestreo final el 8 de julio de 2016.



Figura 6.3. Esquema y localización de las parcelas experimentales

Muestreos de suelos y material vegetal

Muestreo de suelos

Antes de la plantación se tomó una muestra compuesta de suelo (formada por 5 sub-muestras) a una profundidad de 0-30 cm en cada una de las parcelas experimentales. Al final del cultivo, se realizó otro muestreo de suelo, en este caso de suelo rizosférico. Se contaron, por tanto, con 3 réplicas por tratamiento. Por lo que, para realizar los análisis en el laboratorio, se tuvieron: 6 parcelas x 1 muestra/parcela x 2 tipos de muestras (1 inicial + 1 final) = 12 muestras de suelo.

Muestreo de material vegetal

Al finalizar el ciclo de cultivo, en cada una de las parcelas experimentales se seleccionaron 3 plantas de melón, de las cuales se tomó el material vegetal suficiente para realizar los análisis de laboratorio, en raíz, hoja y tallo. El material vegetal, de cada parte del cultivo muestreada en cada una de las parcelas de ensayo, fue mezclado y homogeneizado para su análisis, con lo que se tuvieron 3 muestras de cada una de las partes del cultivo por tratamiento. Las muestras a analizar fueron las siguientes: 6 parcelas x 1 muestra/parcela x 3 órganos/planta x 1 muestreo = 18 muestras de planta.

Muestreo de frutos para calidad y producción

Para el análisis de calidad se tomaron al azar 5 frutos en cada una de las parcelas experimentales y corte (se realizaron 3 cortes), por lo que se tuvieron 15 frutos por tratamiento y corte. Dando un total de 90 frutos analizados para evaluar la calidad del cultivo.

Por su parte, la producción se determinó tanto por el número de frutos recolectados como por el peso total recolectado, tanto por parcela como por tratamiento.

Análisis de laboratorio

Análisis de suelo

Una vez las muestras fueron llevadas al laboratorio, éstas fueron secadas en una estufa con ventilación forzada a 30°C durante 48-72h, posteriormente fueron tamizadas con un tamiz de diámetro de luz de 2 mm, y una fracción de suelo fue molida en mortero de ágata.

Propiedades físico-químicas y microbiológicas/bioquímicas

- Acidez del suelo, pH del extracto 1:1 (Peech, 1965).
- Salinidad, conductividad eléctrica del extracto 1:5 (Andrades, 1996).

- Aniones solubles: sulfatos, cloruros, fosfatos y nitratos (Cromatografía iónica).
- Cationes solubles: calcio, magnesio, sodio y potasio (Cromatografía iónica).
- Carbono inorgánico, carbonatos (Elemental Analysis LECO CHNS).
- Carbono orgánico total. (Elemental Analysis LECO CHNS).
- Capacidad de intercambio catiónico (Chapman, 1965).
- Análisis granulométrico (FAO-ISRIC, 2006).
- Nitrógeno total (Analizador Elemental, LECO CHNS).
- Fósforo asimilable (Watanabe y Olsen, 1965).
- Oligoelementos asimilables: hierro, cobre, zinc y manganeso (Linsay y Norvell, 1978).
- Carbono de la biomasa microbiana (indicador de biomasa microbiana total) determinado por el método de fumigación-extracción (Vance *et al.*, 1987).
- La respiración basal (medida de la actividad microbiana) se monitoriza durante 4 días a 55% de la capacidad de campo y 25°C en botes sellados conteniendo un vial con NaOH para absorber el CO₂ (Anderson, 1982)
- Actividad ureasa (Nannipieri *et al.*, 1978; Kandeler *et al.*, 1999).
- Actividad arilesterasa (Zornoza *et al.*, 2009).
- Actividad β -glucosidasa (Tabatabai, 1982)
- Actividad fosfodiesterasa (Bowman y Tabatabai, 1978).
- Actividad fosfatasa (Tabatabai y Bremner, 1969)
- Actividad protease (Bonmatí *et al.*, 1988; Kandeler *et al.*, 1999).
- Actividad fosfatasa (Tabatabai y Bremner, 1969)

Análisis de material vegetal

El material vegetal muestreado, una vez en el laboratorio, fue lavado con agua destilada y secado en estufa con ventilación de aire forzado durante 72 h a 35 °C, posteriormente fue molido para proceder a su análisis. Los elementos determinados para el análisis nutricional del cultivo fueron los siguientes:

- Nitrógeno (Analizador Elemental, LECO CHNS).
- Potasio, calcio, magnesio y sodio (USEPA, 1996)..
- Hierro, cobre, zinc y manganeso (USEPA, 1996)..

Análisis de frutos para determinar calidad y producción:

Los parámetros que se evaluaron para determinar la calidad de los frutos fueron los siguientes:

- Peso.
- Diámetro axial y ecuatorial.
- Grosor de la pulpa.
- Grosor de la corteza.
- Firmeza de la pulpa.
- Grados Brix.
- Forma del fruto.

La producción se determinó mediante recuento de los frutos en cada uno de los cortes y los pesos medios de los frutos determinados en el laboratorio.

6.3. Resultados y discusión

Propiedades físico-químicas del suelo

Acidez del suelo (pH)

En la Figura 6.4 se presentan los valores de pH tanto antes como al finalizar el cultivo del melón (suelo rizosférico) en las parcelas tratadas con fitofortificante y en las control. Como se puede observar, el pH al inicio del ensayo es moderadamente alcalino con valores ligeramente superiores a 8 (Porta *et al.*, 1999); lo cual se debe al alto contenido en carbonatos como se verá posteriormente. No existen diferencias significativas entre tratamientos.

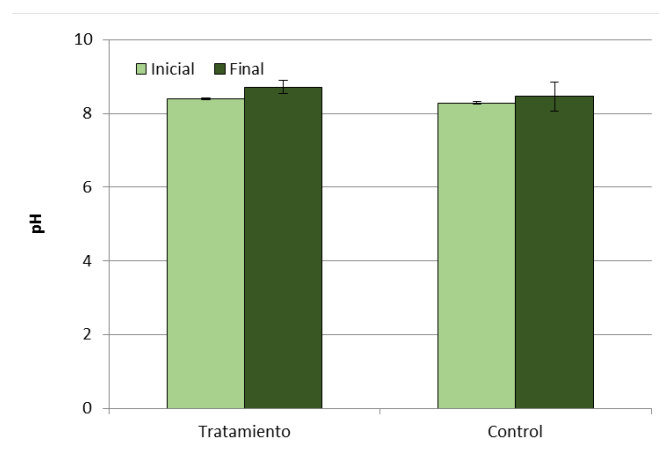


Figura 6.4. pH en las parcelas experimentales

Salinidad (conductividad eléctrica)

Como se puede observar en la Figura 6.5 en la que se muestran los niveles de salinidad para el cultivo con tratamiento y control, en ambos casos los niveles que presenta el muestreo inicial son superiores a los muestreados al final del cultivo, lo cual muestra cómo las sales han sufrido el proceso de lixiviación durante el mismo. No obstante, en todos los casos los suelos son clasificados como suelos no salinos. También se puede advertir que el suelo tratado tiene menor salinidad que el control en la toma inicial de muestras. En relación a los niveles en las muestras finales se puede concluir que no hay diferencias significativas, sin embargo, encontramos diferencias en las concentraciones iniciales, tanto entre sí como entre éstas y las muestras finales.

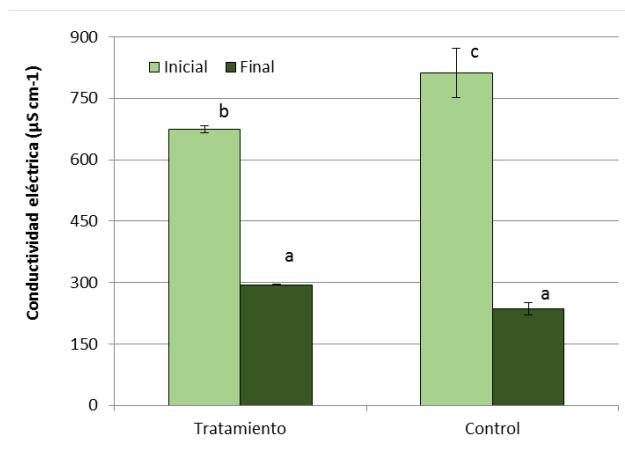


Figura 6.5. Conductividad eléctrica en las parcelas experimentales

Aniones y cationes solubles

Nitratos

En la Figura 6.6 se representan los valores de nitratos para las muestras finales e iniciales en el cultivo con tratamiento y el cultivo control. Esta figura muestra la diferencia de concentración de nitrato de las muestras iniciales -tanto de control como de tratamiento- y su disminución al finalizar el cultivo, mostrando como o bien ha sido tomado por la planta o bien ha sido lixiviado con el agua de riego. No existiendo diferencias significativas entre los niveles finales de tratamiento y los de control.

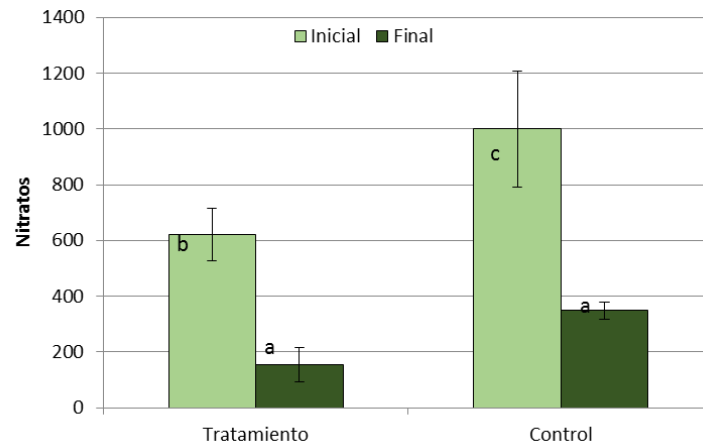


Figura 6.6. Nitratos solubles en las parcelas experimentales

Nitritos

La figura 6.7 representa las concentraciones de nitrito en las parcelas estudiadas. Se puede apreciar que en las muestras control los niveles son ligeramente superiores. Además, al contrario que en las muestras control en las que al final aumenta de manera escasa la concentración, en las parcelas tratadas disminuye sutilmente. En cualquier caso, no se observan diferencias significativas en la concentración de nitritos del suelo.

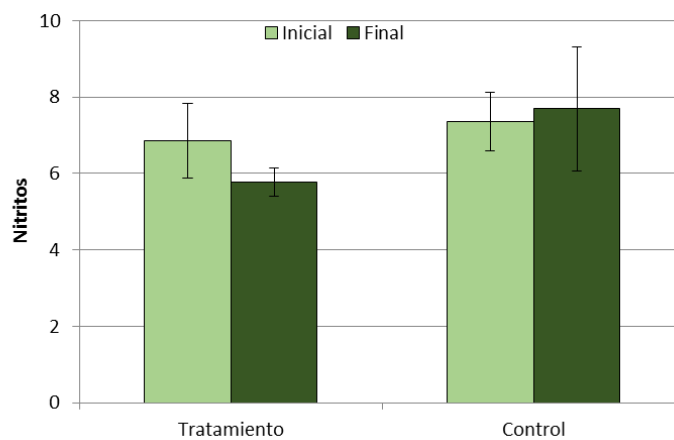


Figura 6.7. Nitritos solubles en las parcelas experimentales

Cloruros

En la Figura 6.8 se muestran los niveles de cloruros para muestras control y para muestras en las que se aplicó el tratamiento. Se puede advertir que en ambos tratamientos se produce una disminución de cloruros durante el ciclo del cultivo, lo cual es debido al proceso de lixiviación. Además las concentraciones –tanto iniciales como finales– son menores en las parcelas de tratamiento que en las de control, siendo los niveles finales inferiores aunque la proporción de disminución es semejante.

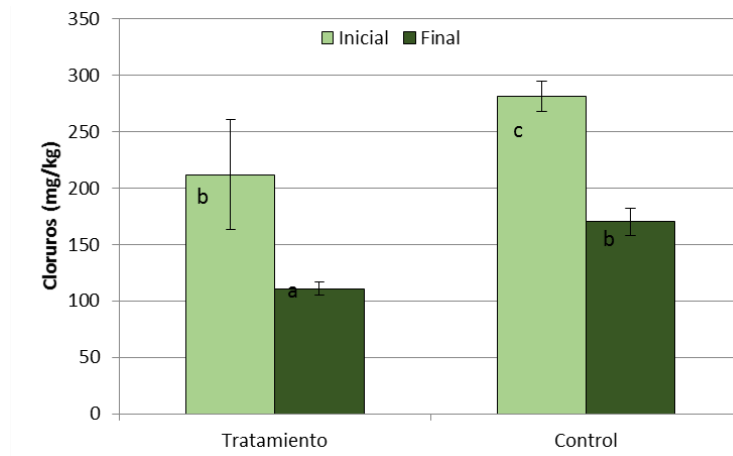


Figura 6.8. Cloruro soluble en las parcelas experimentales

Sulfatos

La Figura 6.9 presenta los valores de sulfatos al inicio y final del cultivo para las parcelas tratadas con el fitofortificante y en las parcelas control. Se advierte que las muestras iniciales no presentan diferencias significativas en cuanto a la concentración de sulfatos se refiere. Sin embargo, si nos fijamos en las finales, es evidente que las muestras en las que se aplicó el tratamiento tienen una menor concentración que las muestras en las que se realizó un manejo habitual del cultivo, lo cual podría indicar que la aplicación de bacterias favorece la solubilización de sulfato y su posterior lixiviación.

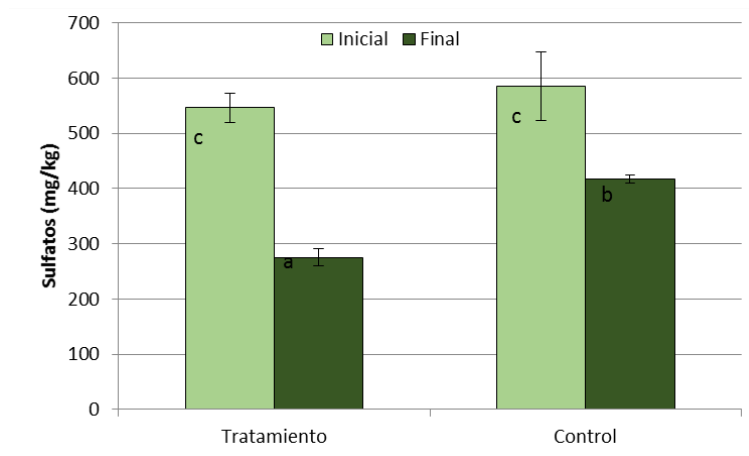


Figura 6.9. Sulfato soluble en las parcelas experimentales

Sodio

En la Figura 6.10 están representados los valores de sodio en suelo para las muestras tratadas y para las muestras control. Como se puede observar, no existen diferencias entre las concentraciones en las muestras iniciales en ambos tratamientos,

siendo éstas inferiores al finalizar el cultivo, no existiendo diferencias significativas entre ambos tratamientos.

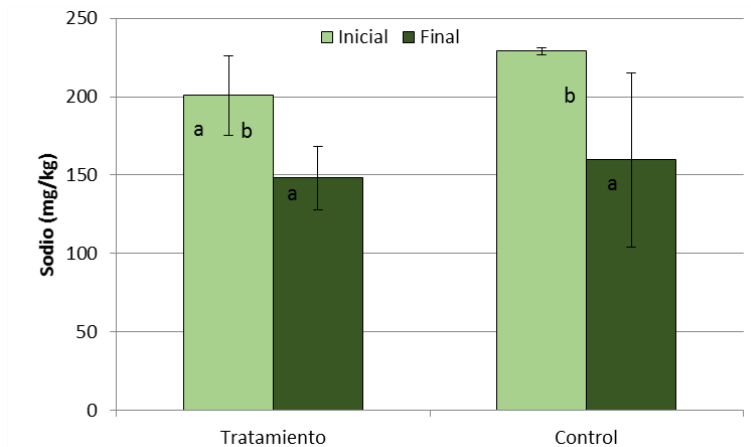


Figura 6.10. Sodio soluble en las parcelas experimentales

Potasio

La Figura 6.11 presenta la concentración de potasio en el suelo, tanto en el que se aplicó el tratamiento como en el control. Como se puede observar, las concentraciones iniciales tanto en muestras de tratamiento como de control no presentan diferencias significativas, siendo levemente superior en las muestras control. Tras el ciclo de cultivo, las muestras finales muestran una reducción de la concentración de potasio, siendo ésta semejante entre ambos tratamientos.

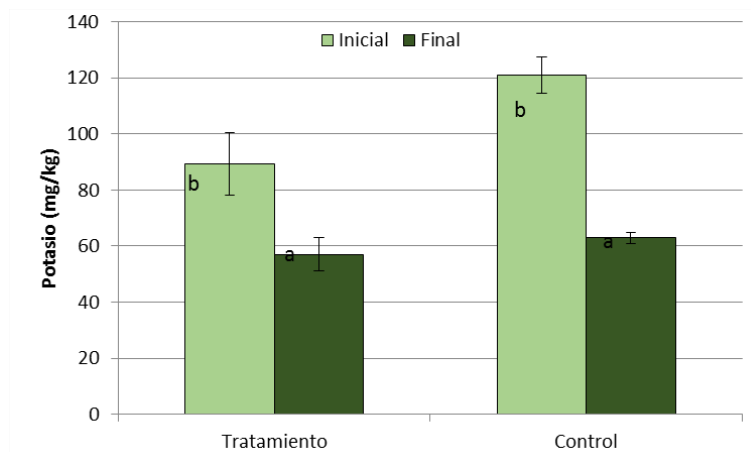


Figura 6.11. Potasio soluble en las parcelas experimentales

Calcio

La Figura 6.12 se presenta la concentración de calcio tanto antes como al finalizar el cultivo, en las parcelas tratadas y en las control. Como se puede observar, al inicio del ensayo la concentración de calcio es algo superior en la zona control. Sin embargo, al final del cultivo se advierte una disminución de la concentración, siendo ésta ligeramente inferior en las parcelas tratadas, sin ser estas diferencias significativas.

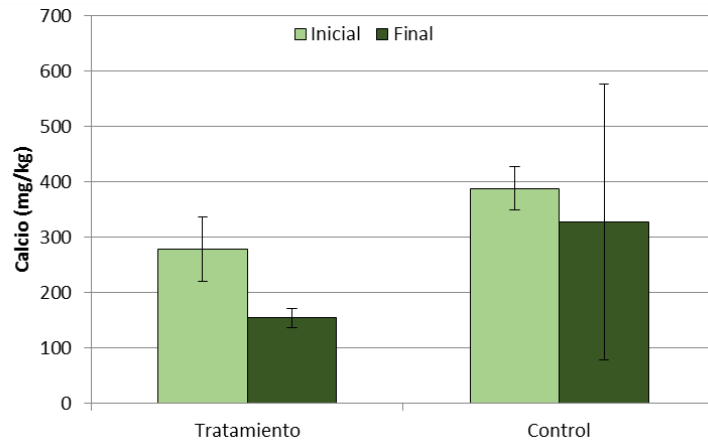


Figura 6.12. Calcio soluble en las parcelas experimentales

Magnesio

La Figura 6.13 muestra la concentración de magnesio en el suelo, en las parcelas tratadas y control tanto al inicio como al final del ciclo de cultivo del melón. Al igual que en el caso de los nitratos, se observan diferencias en las concentraciones iniciales, - las cuales menores en las parcelas de tratamiento. Sin embargo, al finalizar el cultivo no muestran diferencias significativas en cuanto a la concentración de magnesio, aunque es importante resaltar la gran disminución que se produce durante el ciclo.

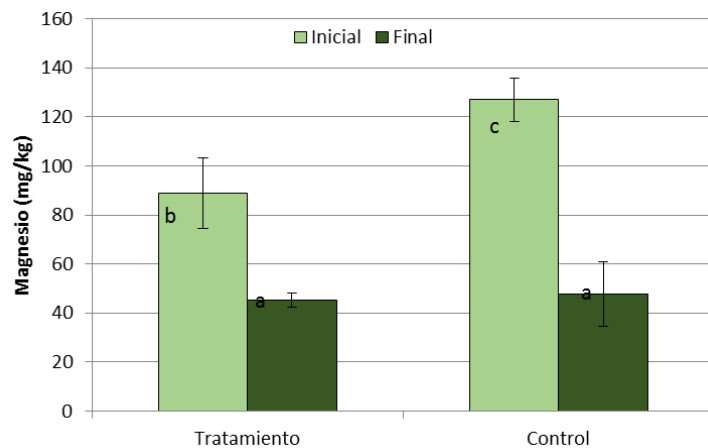


Figura 6.13. Magnesio soluble en las parcelas experimentales

Carbono inorgánico (carbonatos)

La figura 6.14 muestra el porcentaje de carbonatos en el suelo en las parcelas control y tratamiento. Se puede observar que los valores son muy elevados (Urbano, 2001), no existiendo diferencias significativas entre las muestras inicial y final una vez

aplicado el tratamiento. Sin embargo, las parcelas control tienen un porcentaje ligeramente inferior al de la zona de tratamiento.

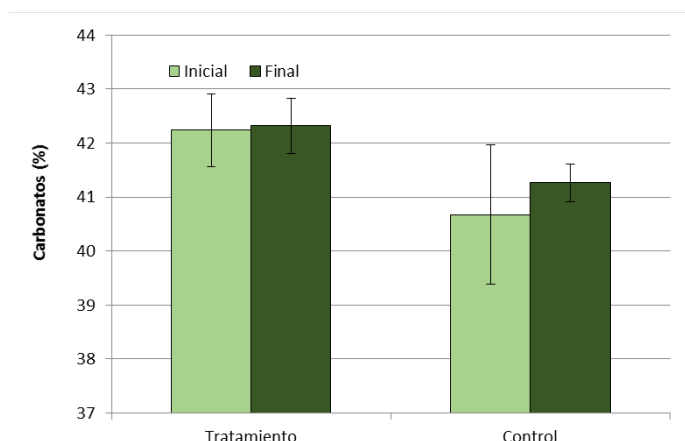


Figura 6.14. Carbonatos en las parcelas experimentales

Granulometría

La Figura 6.15 muestra el porcentaje de limo del suelo en tratamiento y control durante el ciclo del cultivo. Se puede observar que los valores son similares, no encontrándose diferencias significativas entre las concentraciones de control y tratamiento, ni en las muestras iniciales y finales.

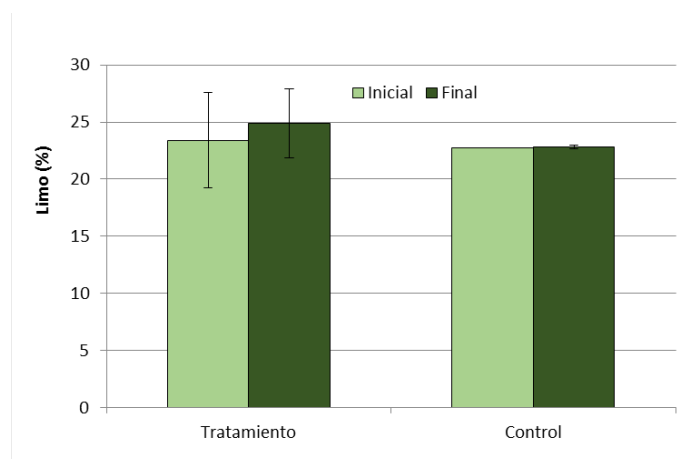


Figura 6.15. Limo en las parcelas experimentales

La Figura 6.16 muestra los porcentajes de arcilla del suelo analizado, tanto al principio como al final del cultivo, en las parcelas tratadas y en las parcelas control. Al igual que en el caso anterior, se aprecia que el porcentaje de arcilla es similar en ambos casos –tratamiento y control- tanto al inicio como al final del cultivo del melón.

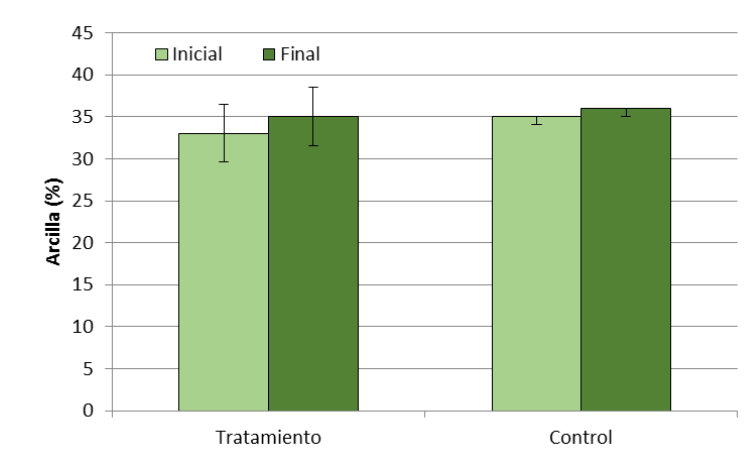


Figura 6.16. Arcilla en las parcelas experimentales

En la Figura 6.17 se representan los porcentajes de arena del suelo analizado, tanto en el que se aplicó el tratamiento como en el control. Se puede observar, como en los casos anteriores, una estabilidad general durante el ciclo de cultivo en ambos casos – tratamiento y control-.

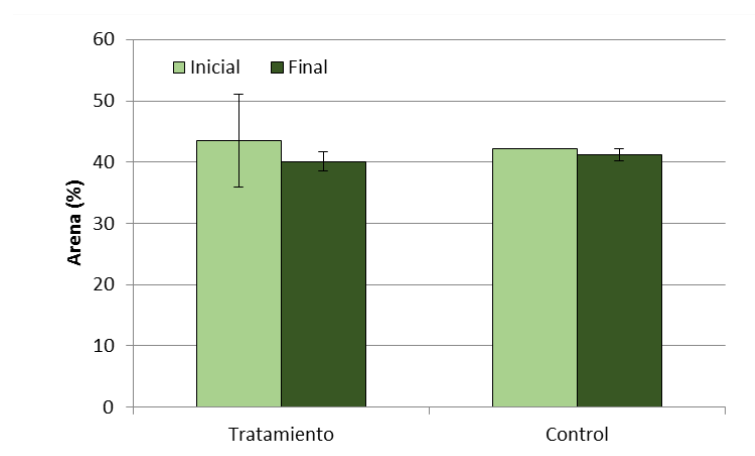


Figura 6.17. Arena en las parcelas experimentales

Carbono orgánico

La Figura 6.18 muestra el porcentaje de carbono orgánico encontrado en las muestras de suelo estudiadas. Se puede ver que en las parcelas control no hay apenas variación tras el ciclo de cultivo, siendo ésta un poco más acusada en las parcelas de tratamiento, donde el suelo presenta un porcentaje mayor al final del ciclo de cultivo, aunque debido a la elevada desviación no son estadísticamente significativas.

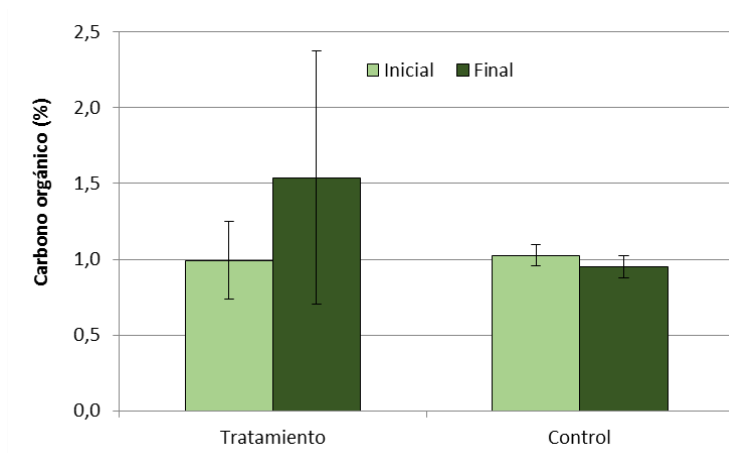


Figura 6.18. Carbono orgánico en las parcelas experimentales

Capacidad de Intercambio Catiónico

La Figura 6.19 representa la capacidad de intercambio catiónico de las muestras de suelo analizadas. Se puede observar que apenas existe diferencia entre los análisis de ambas parcelas –tratamiento y control– tanto al inicio como al final del cultivo.

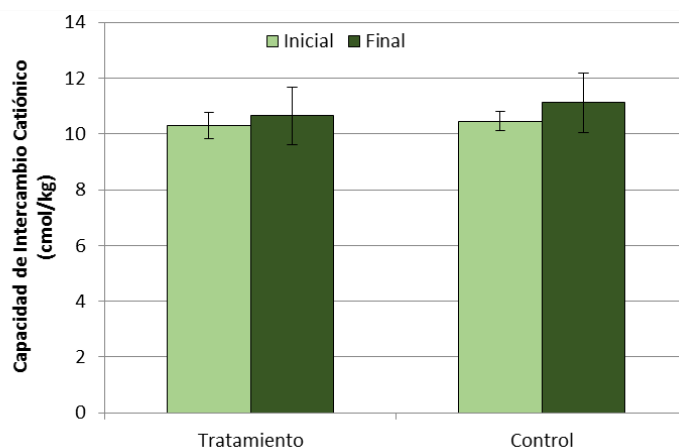


Figura 6.19. Capacidad de intercambio catiónico en las parcelas experimentales

Propiedades microbiológicas/bioquímicas del suelo

Carbono de la biomasa microbiana

La Figura 6.20 presenta los niveles de carbono de la biomasa microbiana tanto en los suelos control como en los suelos tratados con *Pseudomonas fluorescens*. Si se observan las concentraciones del tratamiento, se puede observar que no hay diferencias significativas entre el inicio y el final del cultivo. Sin embargo, si se observan las concentraciones de las parcelas control, se puede ver una acusada disminución del CBM al final del cultivo y, por lo tanto, de la cantidad de bacterias. Estos resultados indican

que la aplicación de bacterias mantiene los niveles de las mismas durante el ciclo de cultivo.

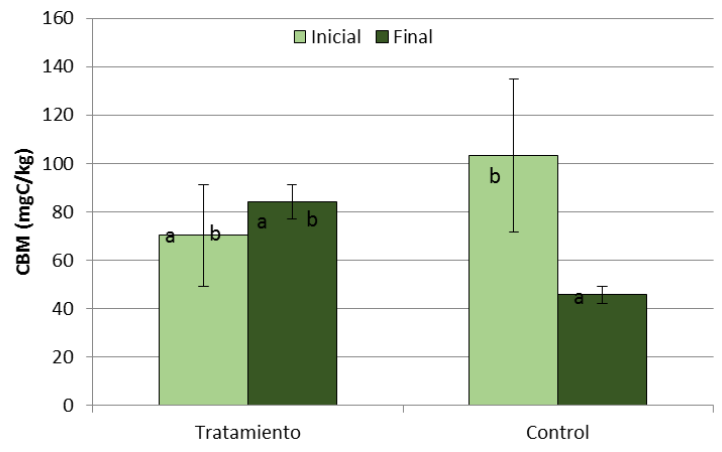


Figura 6.20. Carbono de la biomasa microbiana en las parcelas experimentales

Respiración edáfica basal

La Figura 6.21 representa los niveles de respiración edáfica en las muestras de suelo tratadas y en las control, tanto al principio como al final del ciclo de cultivo. Se puede apreciar que en las muestras de suelo tratadas, la diferencia de niveles entre el inicio y el final del cultivo es significativo, con una amplia disminución. Sin embargo, en las muestras de control, la respiración se mantiene estable durante el cultivo. Estos resultados indican que aunque el número de microorganismos se haya incrementado (Figura 6.21), la mineralización de la materia orgánica se ve ralentizada.

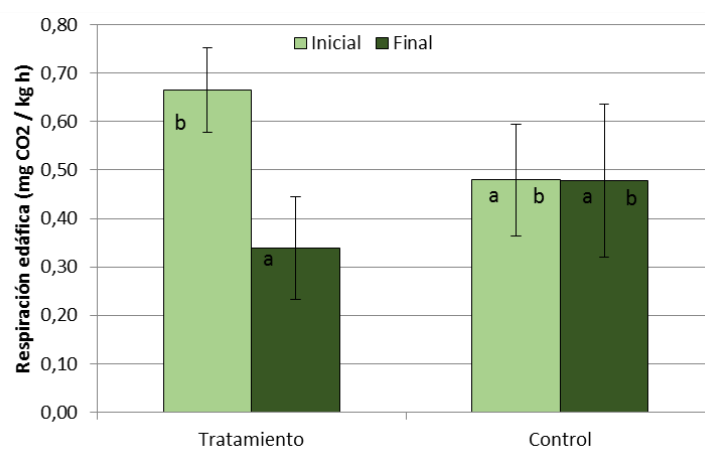


Figura 6.21. Respiración edáfica en las parcelas experimentales

Actividad fosfatasa

La Figura 6.22 expresa los niveles de la actividad fosfatasa en los suelos tratados con fitofortificante y suelos control de la zona de estudio. En ambos casos se observa

que se produce una disminución al final del ciclo de cultivo, siendo los niveles estadísticamente similares en ambos casos.

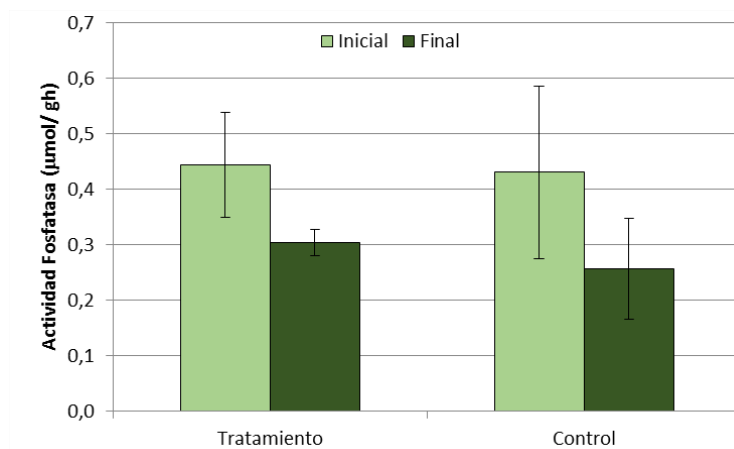


Figura 6.22. Actividad fosfatasa en las parcelas experimentales

Actividad fosfodiesterasa

La Figura 6.23 muestra los niveles de actividad fosfodiesterasa para los suelos tratados con fitofortificante y los usados como control, en el presente estudio. Observando las concentraciones de las parcelas tratadas, se puede observar una elevada disminución de los niveles al final del cultivo. En cambio, los niveles de las parcelas control se mantienen constantes hasta el final del cultivo. Estos resultados podrían indicar que se ha producido la liberación de la mayor parte del fósforo orgánico durante el cultivo, quedando reducida esta actividad por falta de sustrato, al finalizar el mismo.

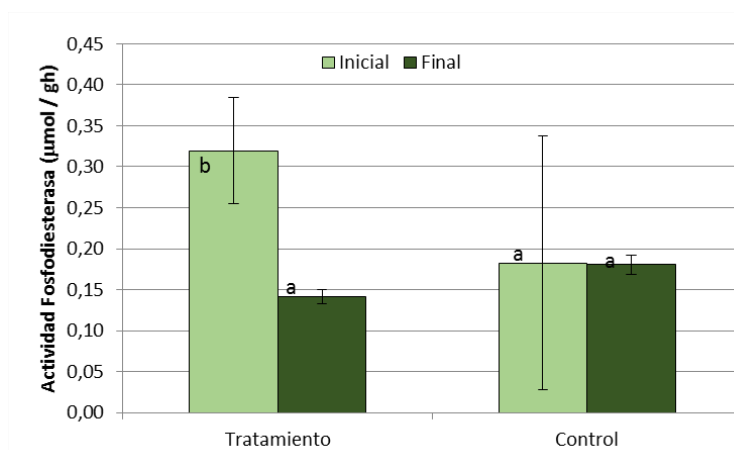


Figura 6.23. Actividad fosfodiesterasa en las parcelas experimentales

Actividad ureasa

La Figura 6.24 reproduce los niveles de actividad ureasa para los suelos tratados con biofertilizante y los suelos control usados en la experiencia. Se puede ver que los niveles en las parcelas control son superiores a las parcelas de tratamiento,

produciéndose en éstas un aumento al final del cultivo, mientras que en las otras se produce una disminución. A pesar de ello, las diferencias no son significativas.

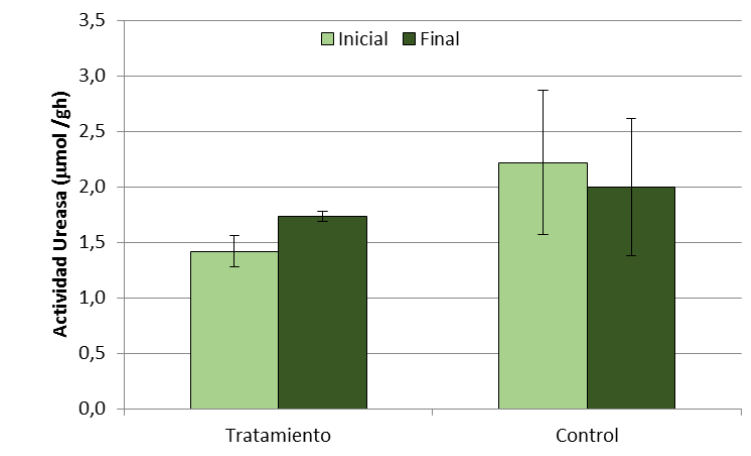


Figura 6.24. Actividad ureasa en las parcelas experimentales

Actividad proteasa

La Figura 6.25 presenta los niveles de actividad proteasa en los suelos tratados y los suelos control, usados para el análisis. Si observamos los niveles de las parcelas control, podemos apreciar que no existen diferencias entre el inicio y el final del cultivo. En cambio, en el suelo tratado, se advierte que el nivel inicial es mucho mayor que el final, indicando una reducción de esta actividad enzimática, posiblemente (al igual que en el caso del fósforo) por la liberación de la mayor parte de nitrógeno orgánico.

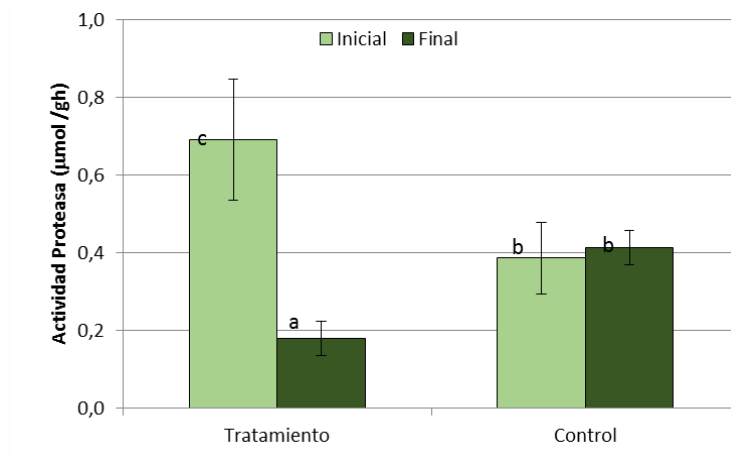


Figura 6.25. Actividad proteasa en las parcelas experimentales

Actividad β -glucosidasa

La Figura 6.26 representa la actividad β -glucosidasa en las muestras de suelo seleccionadas para el estudio. Como podemos observar, en las muestras en las que se aplicó el tratamiento la actividad β -glucosidasa aumentó al final del ciclo de cultivo, mientras que en las muestras control esta actividad disminuyó. Por lo que se podría

concluir que las bacterias continúan transformando el carbono orgánico del suelo una vez finalizado el cultivo, lo cual estaría relacionado con el contenido del mismo en el suelo.

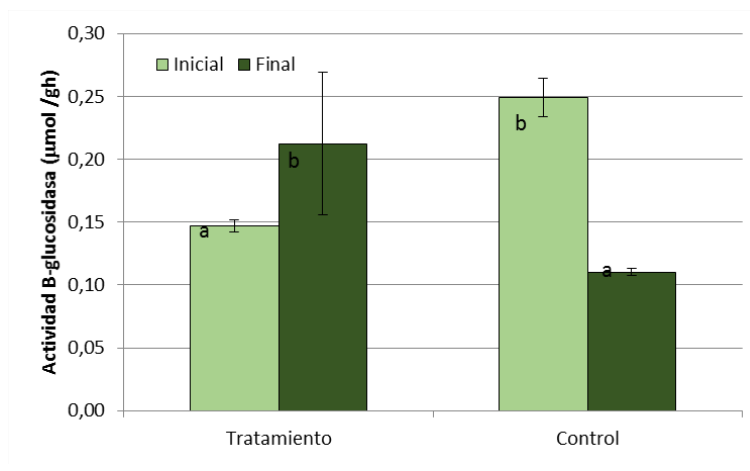


Figura 6.26. Actividad β -glucosidasa en las parcelas experimentales

Actividad arilesterasa

En la Figura 6.27 está representada la actividad arilesterasa para los suelos del tratamiento mediante fitofortificantes y los suelos utilizados como control. Como en el caso anterior, en las parcelas tratadas se produce un aumento mucho más acusado de esta actividad al final del cultivo, que en las muestras control.

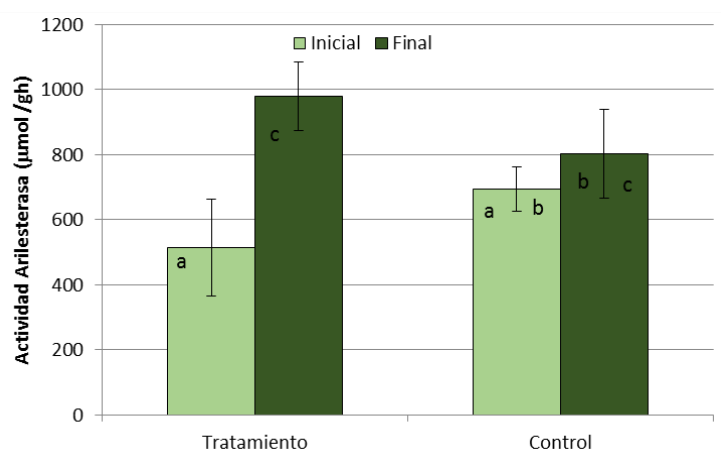


Figura 6.27. Actividad arilesterasa en las parcelas experimentales

Liberación de nutrientes

Nitrógeno total

La Figura 6.28 muestra los datos del nitrógeno total en las parcelas experimentales en las que se llevó a cabo el estudio. En ambos casos se puede apreciar una disminución del porcentaje de nitrógeno en el suelo al final del cultivo. Sin embargo es mucho más significativa la disminución en las parcelas de tratamiento que

en las parcelas control, lo que indica un mayor consumo de este elemento por parte del cultivo.

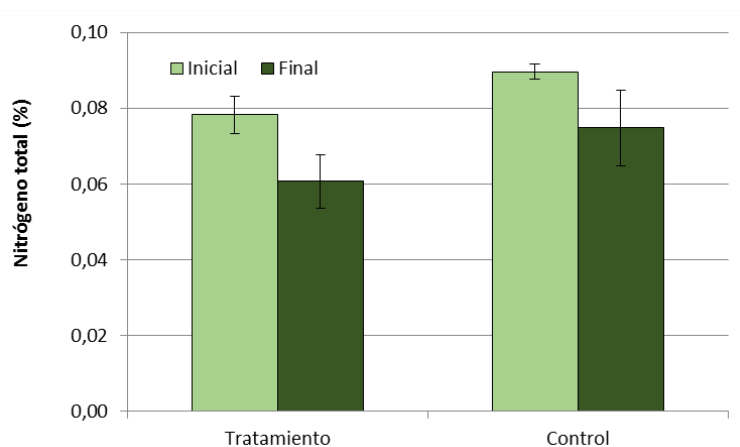


Figura 6.28. Nitrógeno total en las parcelas experimentales

Fósforo asimilable

La Figura 6.29 muestra los niveles de fósforo asimilable en las parcelas estudiadas. Se puede apreciar que los niveles de las parcelas en tratamiento aumentan con el ciclo de cultivo, mientras que en el control disminuyen muy levemente hacia el final del ciclo. No obstante, estas diferencias no son estadísticamente significativas.

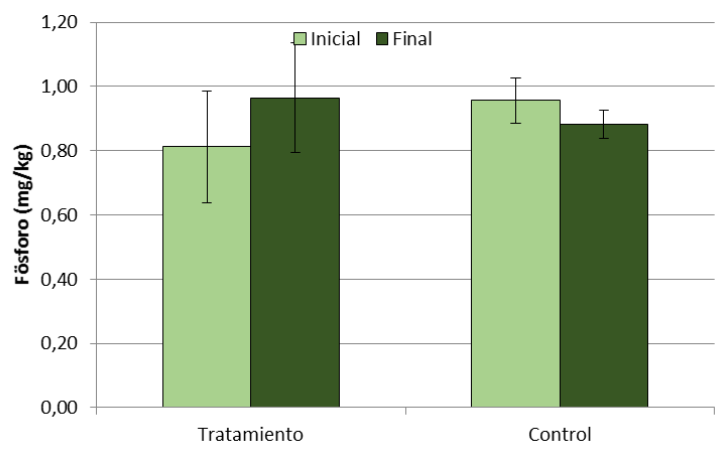


Figura 6.29. Fósforo asimilable en las parcelas experimentales

Micronutrientes asimilables

En la Figura 6.30 se presentan los datos en relación al cobre asimilable en los suelos de las parcelas de estudio. La tendencia general es un aumento de cobre asimilable hacia el final del cultivo, ligeramente superior en las parcelas control que en las de tratamiento. Sin embargo, las diferencias entre control y tratamiento no son

estadísticamente significativas, tanto en las muestras iniciales analizadas como en las finales.

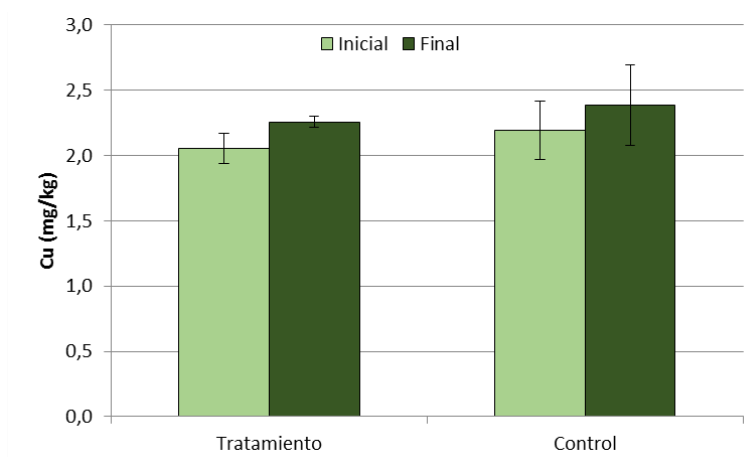


Figura 6.30. Cobre asimilable en las parcelas experimentales

La Figura 6.31 representa los niveles de hierro asimilable tanto en los suelos en los que se aplicó un fitofortificante como en los suelos control. En ambos casos los niveles son superiores al final del ciclo de cultivo que al principio, aunque las diferencias no fueron significativas.

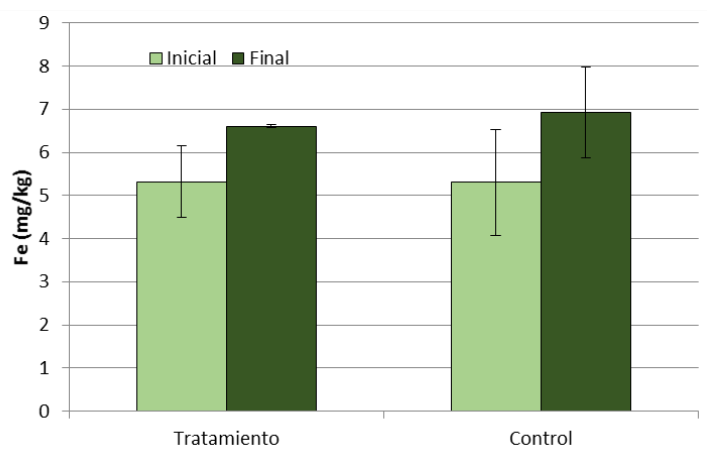


Figura 6.31. Hierro asimilable en las parcelas experimentales

La Figura 6.32 presenta los niveles de zinc asimilable en las parcelas experimentales empleadas para este estudio. Se puede observar que en ambos casos, al final del cultivo disminuyen los niveles de zinc asimilable. No obstante, las diferencias entre los niveles inicial y final de tratamiento son mínimas; al igual que pasa en los niveles inicial y final de las muestras control.

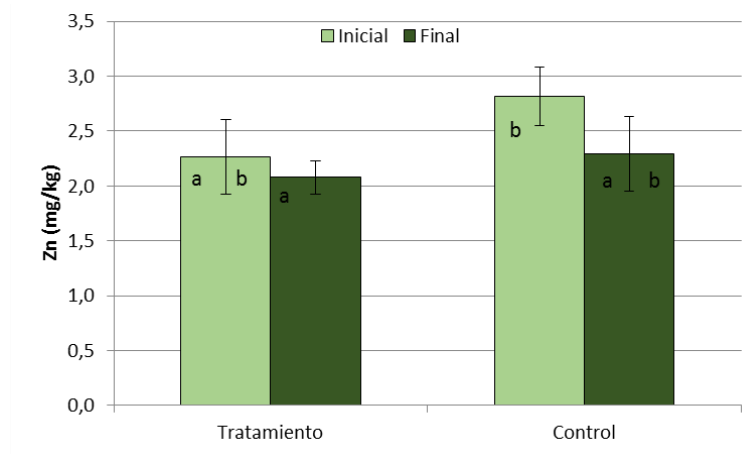


Figura 6.32. Zinc asimilable en las parcelas experimentales

La Figura 6.33 presenta los niveles de manganeso asimilable en las parcelas experimentales estudiadas. Podemos observar un aumento en los niveles al final del ciclo con respecto a los niveles iniciales, tanto en el suelo con tratamiento como en el suelo control, siendo más acusado en el caso de las parcelas tratadas, lo que podría indicar que las bacterias aplicadas favorecen la liberación de este elemento en el suelo.

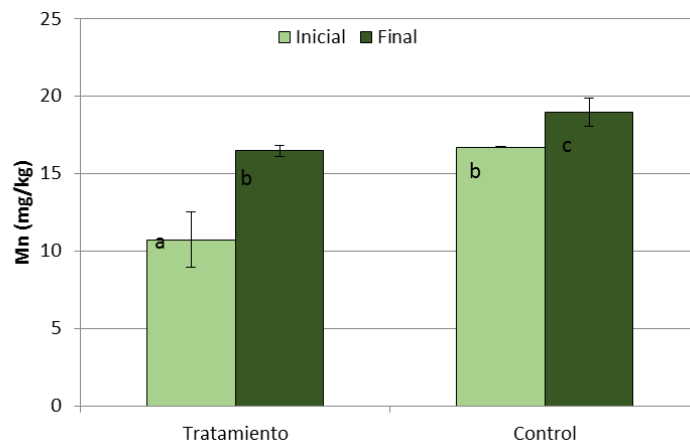


Figura 6.33. Manganeso asimilable en las parcelas experimentales

Cationes de cambio asimilables

La Figura 6.34 presenta los niveles de calcio de cambio en las parcelas en las que se aplicó el fortificante y las que se utilizaron como control del cultivo. Se observa que ocurre un aumento del calcio de cambio al final del cultivo, tanto en las parcelas de tratamiento como en las parcelas de control. Los niveles, en cambio, no presentan diferencias importantes entre ambos tratamientos.

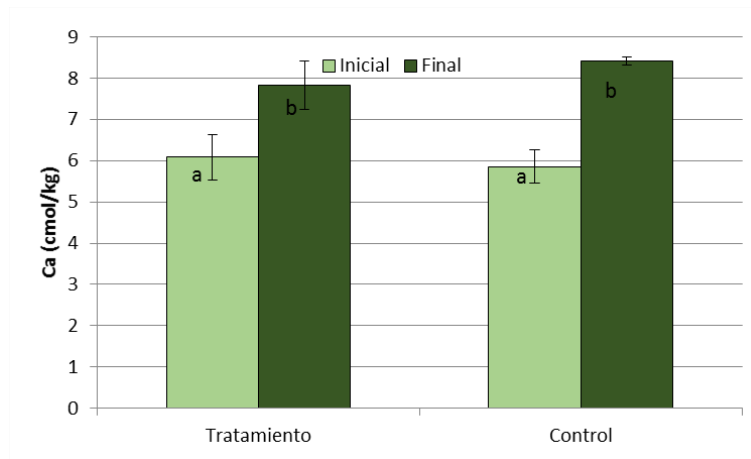


Figura 6.34. Calcio de cambio en las parcelas experimentales

La Figura 6.35 muestra los datos del magnesio de cambio en las parcelas de estudio. La tendencia es la disminución hacia el final del cultivo. Los niveles de magnesio de cambio tanto en las parcelas de tratamiento –al inicio y al final del ciclo– son muy similares a los de las parcelas de control.

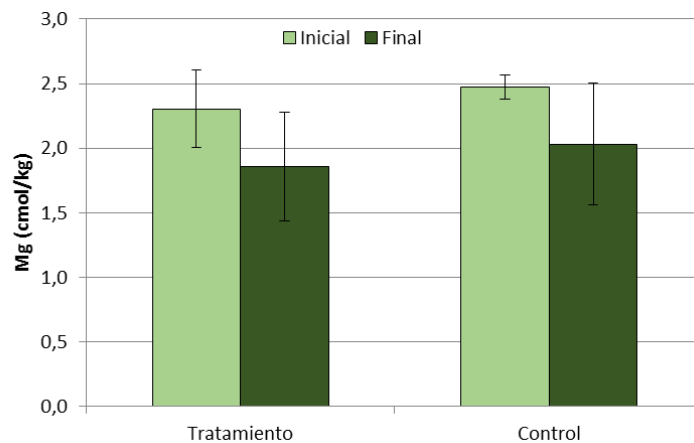


Figura 6.35. Magnesio de cambio en las parcelas experimentales

En la Figura 6.36 están representados los niveles de potasio de cambio en las parcelas experimentales empleadas para realizar el estudio. Podemos observar que en las parcelas del tratamiento los niveles son similares, con una ligera disminución al finalizar el cultivo. Sin embargo, en las parcelas en las que se llevó a cabo el control, apreciamos en primer lugar un nivel inicial elevado, y una acusada disminución del nivel al final del cultivo. Esto podría indicar que las bacterias aplicadas favorecen la liberación de este elemento impidiendo su disminución en el suelo, tal y como se observa en las parcelas control.

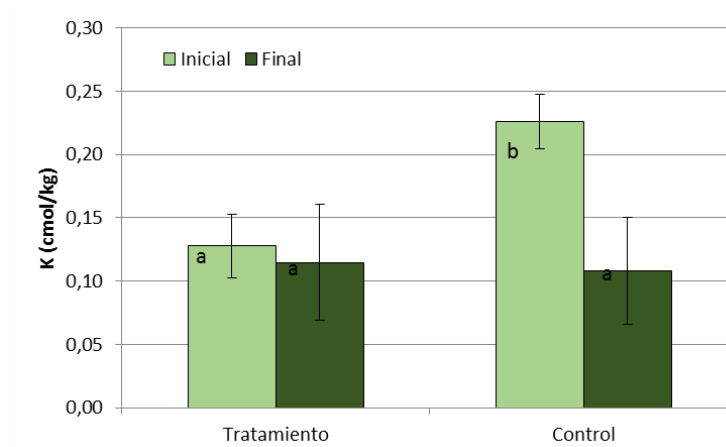


Figura 6.36. Potasio de cambio en las parcelas experimentales

La Figura 6.37 representa los niveles de sodio de cambio en las parcelas experimentales, tanto al inicio como al final del cultivo. Como se puede observar, los valores son semejantes tanto entre tratamiento y control, como entre muestreo inicial y final.

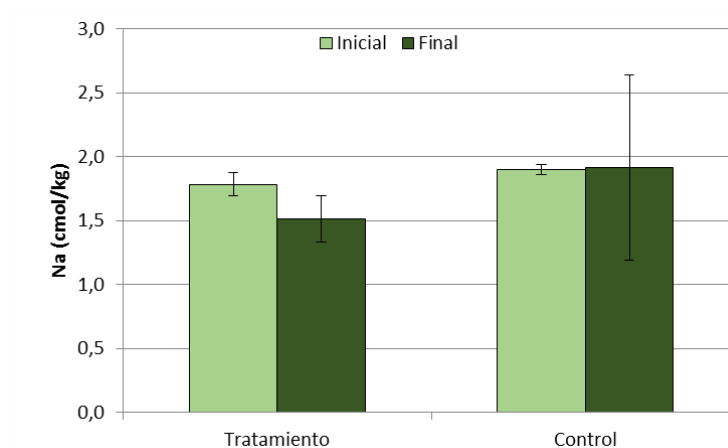


Figura 6.37. Sodio de cambio en las parcelas experimentales

Distribución de los nutrientes en las diferentes partes del cultivo

A continuación se presentan las concentraciones de nutrientes en el cultivo de melón en hojas, raíz y tallo, en el momento de la recolección.

Micronutrientes

En la Figura 6.38 se muestran las concentraciones de manganeso en hojas, raíz y tallo, cuyo rango normal en hojas oscila entre 50-100 mg kg⁻¹. Como se puede ver, las mayores concentraciones se encuentran en las hojas, estando en niveles normales en ambos tratamientos, cercanos a 55 mg kg⁻¹ tanto en el control como en las plantas tratadas. Destacar que en el caso de la raíz las concentraciones de manganeso son mayores en las parcelas control, mientras que en el tallo estas son semejantes entre

tratamientos. Estos resultados indican que se produce una mayor absorción de manganeso por parte de las plantas control mientras que su translocación es menor.

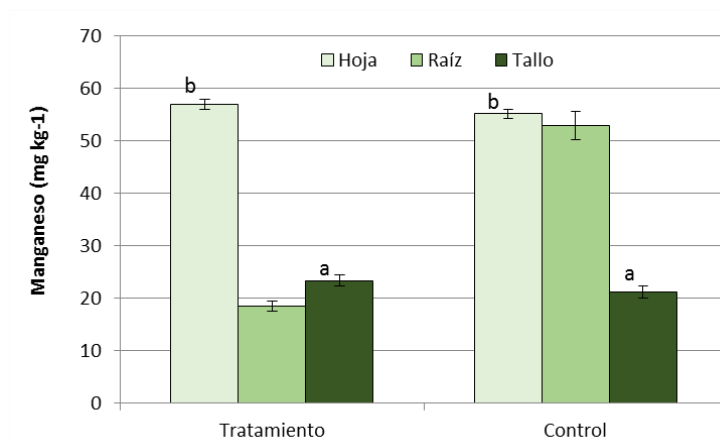


Figura 6.38. Concentraciones de manganeso en la planta de melón (hojas, raíz y tallo)

En la Figura 6.39 se muestran las concentraciones de hierro en hojas, raíz y tallo, cuyo rango normal en hojas oscila entre 60-120 mg kg⁻¹. En cuanto a las hojas, podemos apreciar que los niveles de hierro superan ligeramente el rango normal, siendo muy similares entre las plantas sometidas al fitofortificante y las plantas del control. En cuanto a la raíz, podemos ver que los niveles en tratamiento son ligeramente superiores que en el control, por lo que se puede decir que la absorción es más elevada en estas parcelas. Por último, los niveles de hierro en el tallo tanto del control como del tratamiento son similares.

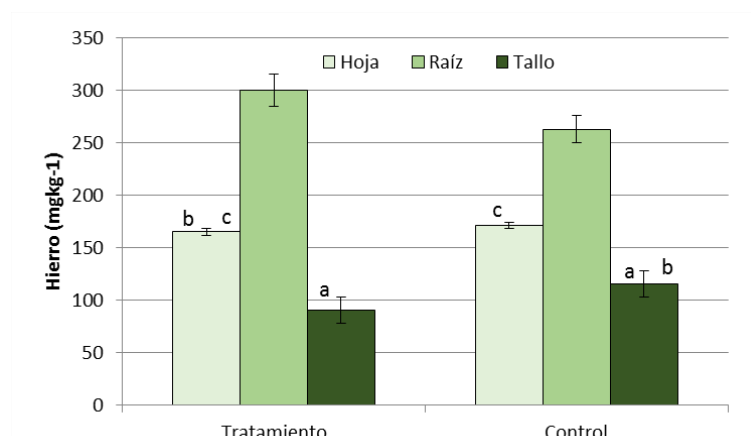


Figura 6.39. Concentraciones de hierro en la planta de melón (hojas, raíz y tallo)

En la Figura 6.40 se muestran las concentraciones de zinc en hojas, raíz y tallo, cuyo rango normal en hojas oscila entre 20-80 mg kg⁻¹. Podemos advertir que las hojas

tienen un nivel dentro del rango normal, ligeramente superior en el control. En cuanto a las raíces y el tallo, los niveles son bastante similares entre sí, sin diferencias significativas. Lo que indica que el cultivo se ha comportado de forma similar en ambos casos.

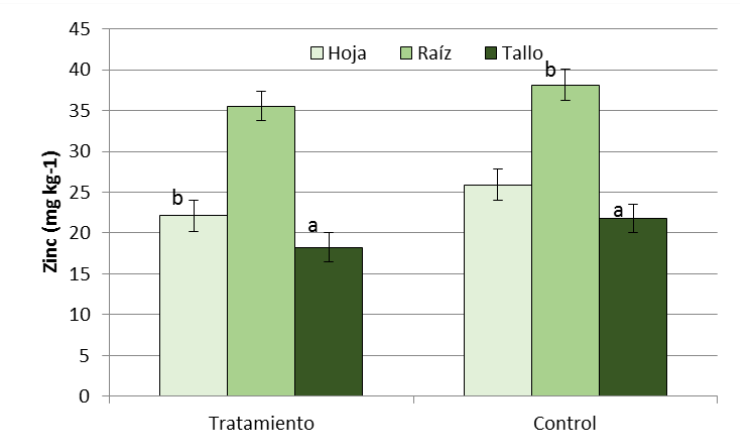


Figura 6.40. Concentraciones de zinc en la planta de melón (hojas, raíz y tallo)

En la Figura 6.41 se muestran las concentraciones de cobre en hojas, raíz y tallo, cuyo rango normal en hojas oscila entre 5-20 mg kg⁻¹. La concentración en las hojas es superior a las del rango normal; no existiendo diferencias significativas entre tratamiento y control. Al igual sucede con las concentraciones del tallo siendo bastante similares, sin encontrar diferencias significativas. En cuanto a las concentraciones en la raíz, podemos ver que la de las plantas con tratamiento es ligeramente superior, lo que puede determinar que la translocación de éste elemento sea ligeramente menor cuando se aplica el fitofortificante.

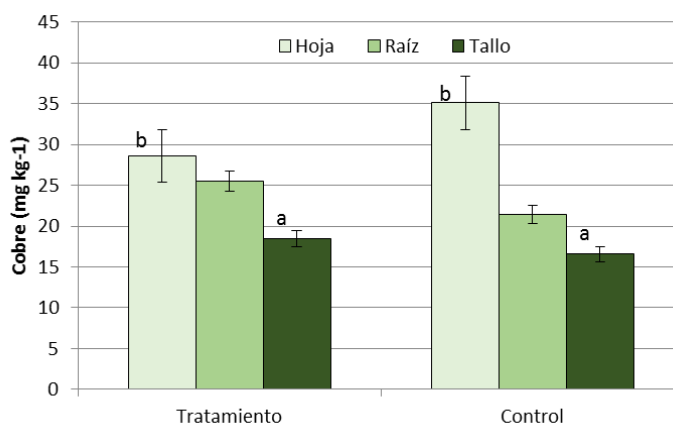


Figura 6.41. Concentraciones de cobre en la planta de melón (hojas, raíz y tallo)

Macronutrientes

En la Figura 6.42 se muestran las concentraciones de sodio en hojas, raíz y tallo, cuyo rango normal en hojas oscila entre 0,1-2 g kg⁻¹. Las concentraciones de sodio en las hojas se encuentran dentro del rango normal, siendo similares tanto en control como en plantas con tratamiento. Tampoco encontramos diferencias significativas en la raíz de las plantas control y las tratadas, cuyas concentraciones son similares. Donde hallamos la mayor desigualdad es en las concentraciones del tallo, la cual es significativamente superior en las plantas tratadas.

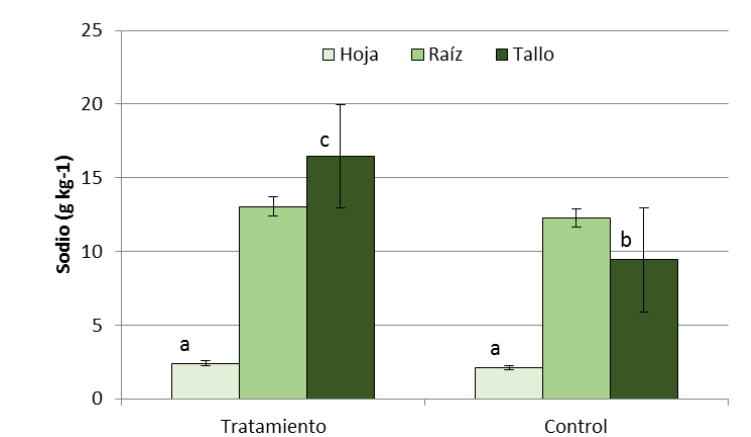


Figura 6.42. Concentraciones de sodio en la planta de melón (hojas, raíz y tallo)

En la Figura 6.43 se muestran las concentraciones de potasio en hojas, raíz y tallo, cuyo rango normal en hojas oscila entre 25-50 g kg⁻¹. En el gráfico podemos observar que las concentraciones en las hojas de las plantas en tratamiento son ligeramente inferiores al rango normal, encontrándose dentro de este rango las hojas de las plantas control. En relación a la raíz, las plantas a las que se les aplicó el tratamiento presentan una concentración ligeramente superior a la de las plantas control mientras que las concentraciones en el tallo son similares en ambos casos.

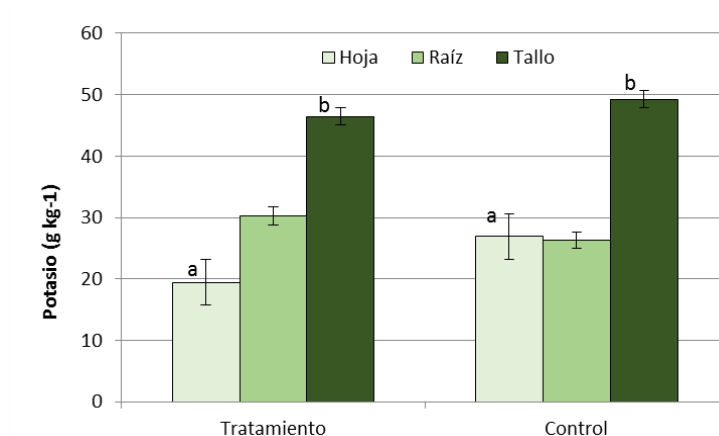


Figura 6.43. Concentraciones de potasio en la planta de melón (hojas, raíz y tallo)

En la Figura 6.44 se muestran las concentraciones de magnesio en hojas, raíz y tallo y tallo, cuyo rango normal en hojas oscila entre 5-10 g kg⁻¹. Es evidente que las hojas tanto de las plantas de tratamiento como de las plantas control contienen una mayor concentración de magnesio, muy superior al rango normal en hojas. En relación a las raíces, son unas concentraciones semejantes, ligeramente mayor la de las plantas control, pero sin apreciables diferencias significativas. Si nos centramos en las concentraciones del tallo, tanto control como tratamiento presentan concentraciones similares. Se podría concluir que el comportamiento de la planta es prácticamente igual entre tratamientos.

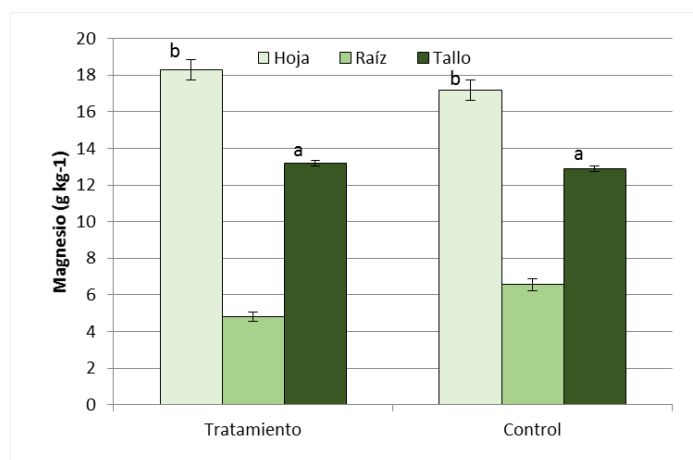


Figura 6.44. Concentraciones de magnesio en la planta de melón (hojas, raíz y tallo)

En la Figura 6.45 se muestran las concentraciones de calcio en hojas, raíz y tallo, cuyo rango normal en hojas oscila entre 20-35 g kg⁻¹. Según los estudios realizados a las hojas recogidas, éstas muestran unas concentraciones superiores al rango normal tanto en las plantas tratadas como en las plantas control. En la raíz, la concentración en las plantas tratadas es inferior a las de las plantas control; mientras que las concentraciones en el tallo son similares en ambos casos, por lo que de forma global las plantas tratadas absorberían menor cantidad de calcio.

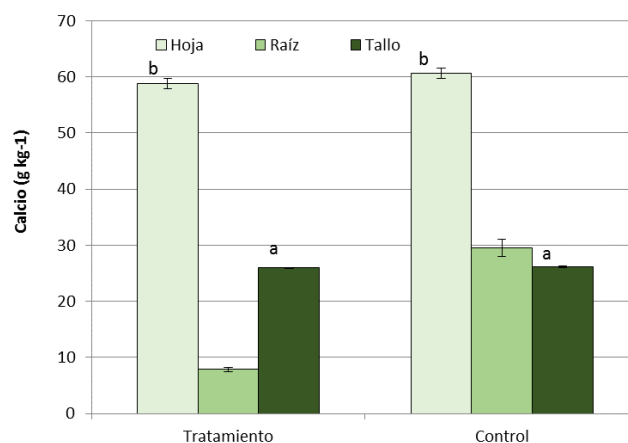


Figura 6.45. Concentraciones de calcio en la planta de melón (hojas, raíz y tallo)

En la Figura 6.46 se muestran las concentraciones de nitrógeno en hojas, raíz y tallo, cuyo rango normal en hojas oscila entre 20-60 g kg⁻¹. En el caso de las hojas, podemos ver que ambas tienen unas concentraciones semejantes en plantas tratadas y plantas control; al igual que pasa con las concentraciones del tallo. Donde vemos una clara diferencia es en las concentraciones de la raíz, en las que las plantas tratadas tienen una concentración superior, indicando una mayor absorción de este elemento por el cultivo.

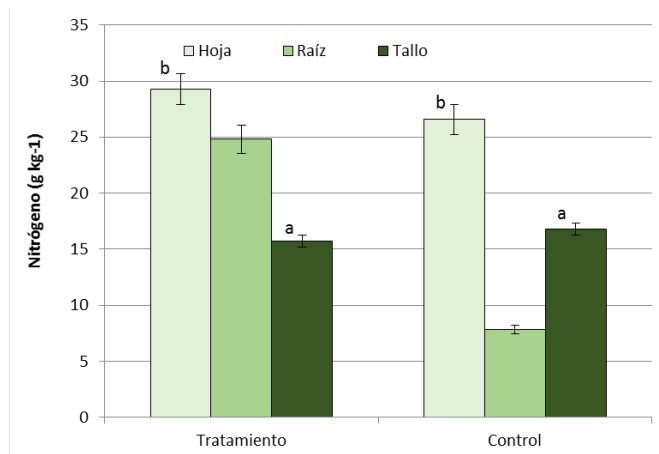


Figura 6.46. Concentraciones de nitrógeno en la planta de melón (hojas, raíz y tallo)

Calidad y producción

En lo referente a la calidad de los frutos recolectados, a continuación se presentan los parámetros evaluados (peso, diámetro axial y ecuatorial, forma, grosor de corteza, grosor de pulpa, dureza de pulpa y °brix) para cada uno de los tratamientos.

Peso del fruto

El melón Piel de Sapo se caracteriza por poseer frutos uniformes en cuanto a calidad y producción. Con un peso medio comprendido entre los 1,5 y 2,5 kg.

La Figura 6.47 muestra los pesos de los frutos estudiados. En el gráfico podemos observar que en las tres mediciones que se realizaron los pesos de los frutos que habían sido tratados son superiores a los pesos de los frutos control, con pesos superiores a los 3 kg en las parcelas tratadas, alcanzando los 3,5 kg en el 1º y 2º corte. Por el contrario, en las parcelas control era inferior a los 3 kg, siendo incluso menor a los 2,5 kg en el primer control de calidad.

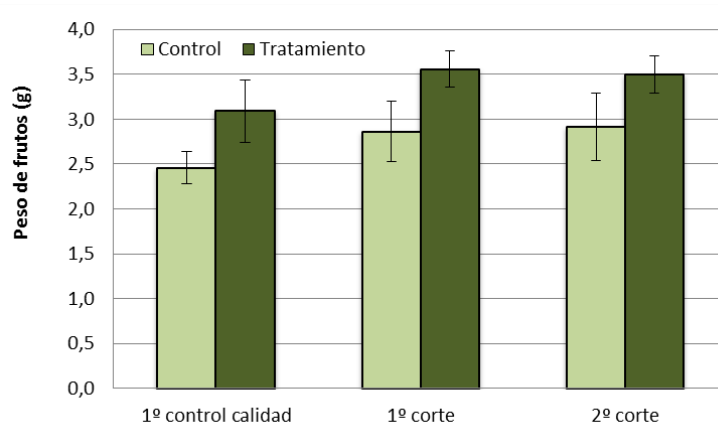


Figura 6.47. Pesos de los frutos analizados

Diámetro axial

El melón Piel de Sapo se caracteriza por ser un melón de forma alargada. En la Figura 6.48 podemos observar los diámetros axiales de los ejemplares estudiados. Se aprecia que las medidas son bastante similares tanto en control como en tratamiento, siendo siempre ligeramente superiores las de los frutos con tratamiento.

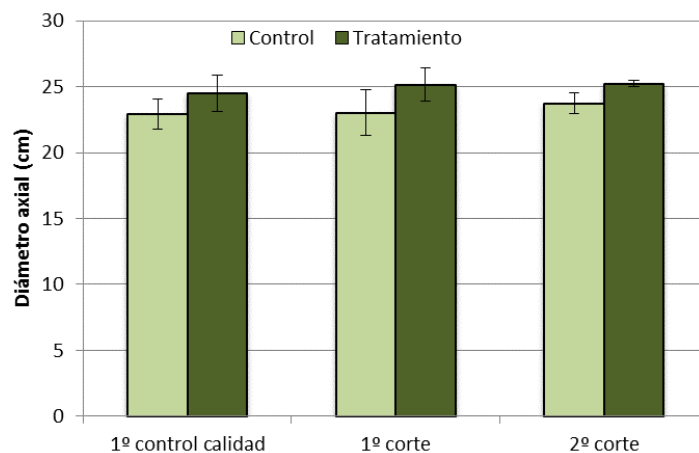


Figura 6.48. Diámetro axial de los frutos analizados

Diámetro ecuatorial

Al igual que ocurre con el diámetro axial, el diámetro ecuatorial es bastante similar tanto en frutos sometidos a control como en los sometidos al tratamiento. La Figura 6.49 muestra los datos recogidos sobre el diámetro ecuatorial de los frutos.

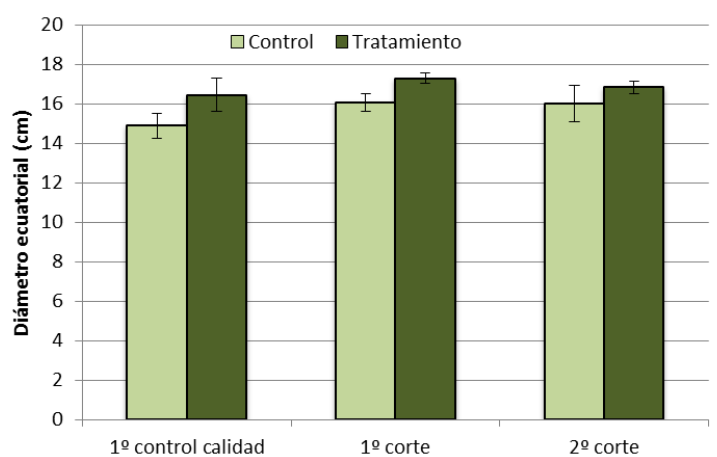


Figura 6.49. Diámetro ecuatorial de los frutos analizados

Grosor de la corteza

En relación al grosor de la corteza, ésta suele ser de un grosor medio de 6 a 8 mm. Como se puede ver en la Figura 6.50, tanto en frutos control como en frutos con tratamiento el grosor de la corteza está por debajo de la media, cuyos valores fluctúan entre muestreos.

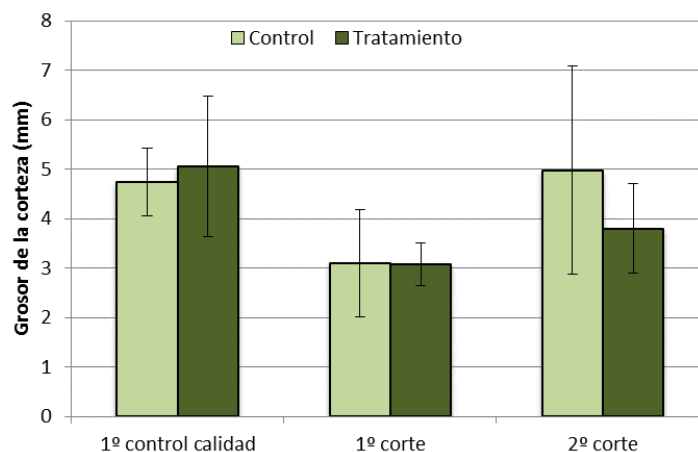


Figura 6.50. Grosor de la corteza de los frutos analizados

Grosor de la pulpa

En la Figura 6.51 se puede observar los valores recogidos en relación al grosor de la pulpa de los frutos estudiados. La tendencia general es que los frutos en los que se aplicó el tratamiento poseen una pulpa más gruesa que en los frutos control, y por lo tanto mayor cantidad de fruto consumible.

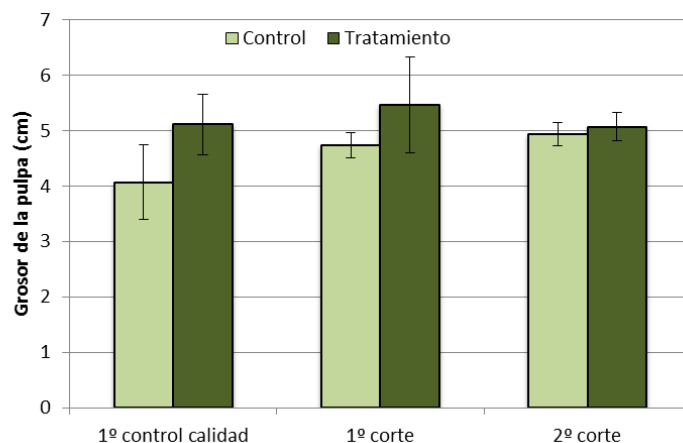


Figura 6.51. Grosor de la pulpa de los frutos analizados

Dureza de la pulpa

La Figura 6.52 representa las medidas en cuanto a la dureza de la pulpa de los frutos analizados. En el 1º control de calidad la dureza de la pulpa de los frutos en tratamiento es ligeramente superior a la de las frutas control. Sin embargo, en los otros cortes, podemos ver que es más dura la pulpa de los frutos control que los de tratamiento, lo que podría indicar una mayor maduración en este último caso en el momento de la recolección.

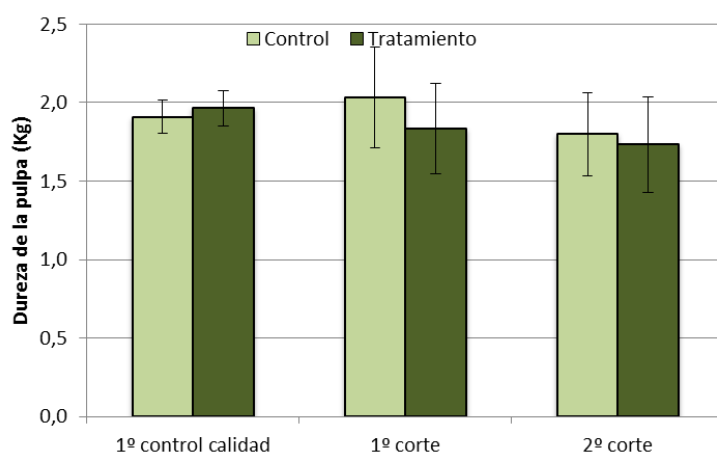


Figura 6.52. Dureza de la pulpa de los frutos analizados

°Brix

La Figura 6.53 muestra los valores de °Brix de los frutos estudiados. Podemos observar que en general, los frutos que fueron tratados poseen un mayor contenido en azúcares que los frutos control, aunque en el 2º corte ésta sería semejante.

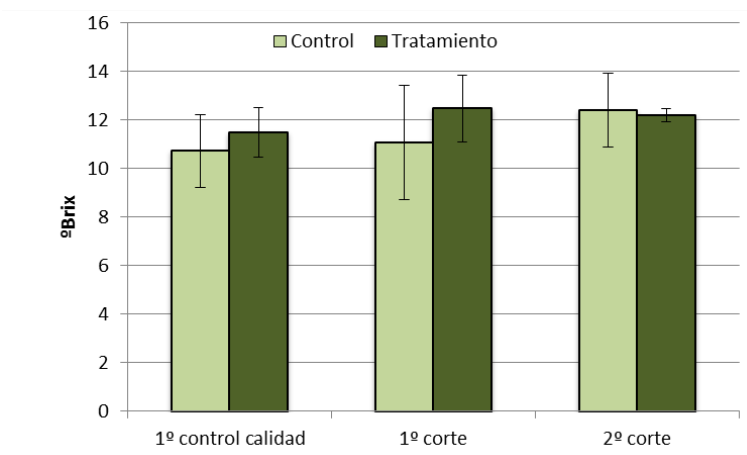


Figura 6.53. Grados Brix de los frutos analizado

Producción

La figura 6.54 muestra la producción obtenida en los dos cortes comerciales que se realizaron en el cultivo, indicando número de frutos por hectárea y toneladas por hectárea.

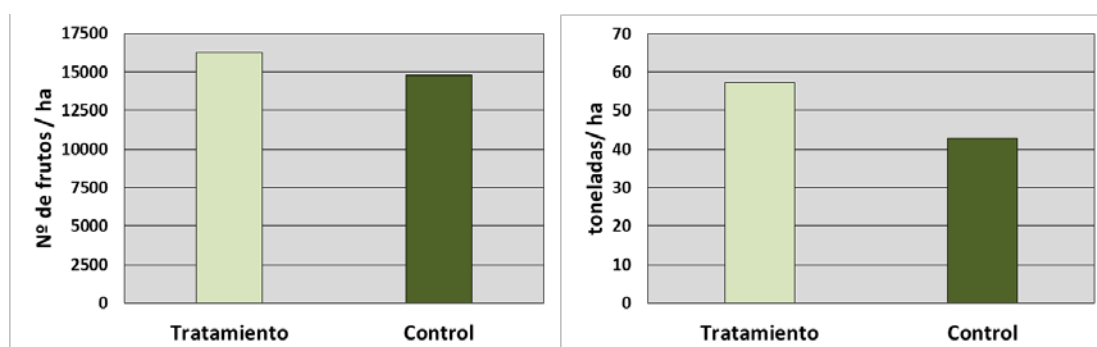


Figura 6.54. Producción de melón en parcelas tratadas y parcelas control

Como se puede apreciar tanto el número de frutos como las toneladas recolectadas fueron superiores en las parcelas tratadas, entorno al 10 % se incrementan los frutos y alrededor de un 30% las toneladas recolectadas.

6.4. Conclusiones

Tras la evaluación del comportamiento del suelo, planta y parámetros de calidad del melón en plantas control y en plantas tratadas con *Pseudomonas fluorescens*, se puede concluir que el tratamiento tiene efectos positivos sobre el cultivo del melón.

Según los resultados obtenidos en relación a las propiedades del suelo, se podría concluir que el tratamiento con *Pseudomonas fluorescens* no afecta significativamente al pH, salinidad, nitratos, nitritos, sodio, potasio, calcio, magnesio, carbonatos, textura,

capacidad de intercambio catiónico, y actividades ureasa y fosfatasa. Por el contrario, produce un aumento al finalizar el cultivo de sulfatos solubles, carbono orgánico, carbono de la biomasa microbiana y actividades β -glucosidasa y arilesterasa; mientras que disminuyen las actividades proteasa y fosfodiesterasa quizás debido a la liberación de la mayor parte de fósforo y nitrógeno orgánico presente en la materia orgánica del suelo.

Respecto a la liberación de los nutrientes se puede decir que la aplicación de bacterias no afectó significativamente en los contenidos de cobre, hierro, zinc, calcio, magnesio, sodio y fósforo asimilable en los suelos estudiados. Por el contrario se produjo un aumento en la concentración de manganeso y potasio, que aunque no superó a la concentración de las parcelas control, sí impidió su disminución debido al consumo por parte del cultivo. Con respecto al nitrógeno total en el suelo, se observa un menor nivel en los suelos tratados con el fitofortificante, lo cual podría indicar un mayor consumo del mismo por parte del cultivo, tal y como muestra la mayor concentración de este elemento por las plantas tratadas.

En relación a la distribución de los nutrientes en el cultivo, se puede concluir que la aplicación de *Pseudomonas fluorescens* no afecta a las concentraciones de zinc y magnesio en la planta. Por el contrario favoreció la absorción de sodio, hierro, nitrógeno y potasio, mientras que la absorción de calcio, cobre y manganeso se vio limitada.

Los parámetros de calidad estudiados (peso, diámetro, dureza de la pulpa), se ven favorecidos cuando se aplican los fitofortificantes. Los frutos poseen un ligero aumento de peso, un mayor diámetro, la pulpa más gruesa, una menor dureza de ésta, y mayor cantidad de grados Brix, por lo que los frutos tratados son ligeramente más dulces que los frutos en el control.

Los resultados mostraron un incremento entorno al 10 % en los frutos recolectados y alrededor de un 30% en las toneladas recolectadas.

7. Conclusiones generales

7. Conclusiones generales

7.1. Efecto del fitofortificante en las propiedades de suelo y la producción

Cultivo del melón

En relación al suelo, la aplicación del fitofortificante no tiene efecto sobre el pH, el contenido de carbonatos, la capacidad de intercambio catiónico, la textura del suelo, el contenido de calcio intercambiable, la relación C/N y el contenido de zinc asimilable. Como efecto positivo, incrementa el contenido en nitrógeno total, el fósforo asimilable, el contenido de cobre y hierro asimilable, el carbono de la biomasa microbiana, la respiración, la actividad ureasa, fosfatasa y β -glucosidasa. Como efecto adverso que debe de ser estudiado, incrementa la salinidad, disminuye la materia orgánica y el contenido de manganeso asimilable.

En relación al balance nutricional, la aplicación del fitofortificante incrementa la absorción y acumulación en hojas de manganeso, nitrógeno y fósforo; así como la acumulación en la piel del fruto de hierro, zinc, fosforo y calcio; por el contrario limita la absorción y acumulación de calcio y cobre en hojas, y de sodio y potasio en la piel del fruto.

En relación a la calidad y producción del cultivo, la aplicación del fitofortificante incrementa el peso del fruto y los diámetros axial y ecuatorial, así como la cantidad en peso de frutos recolectados. No teniendo efecto sobre la forma, dureza, contenido de azúcares ni grosores de corteza y pulpa.

Cultivo de maíz de Yechar

En relación al suelo, la aplicación del fitofortificante no tiene efecto sobre el pH, el contenido de carbonatos, la capacidad de intercambio catiónico, el contenido en nitrógeno total, la textura del suelo, el contenido de calcio intercambiable y el contenido de potasio intercambiable. Como efecto positivo, incrementa el fósforo asimilable, la materia orgánica, la relación C/N, el contenido de cobre, zinc, hierro y manganeso asimilable, el carbono de la biomasa microbiana, la respiración, la actividad ureasa, fosfatasa y β -glucosidasa. Como efecto adverso que debe de ser estudiado, incrementa la salinidad.

En relación al balance nutricional, la aplicación del fitofortificante incrementa la absorción y acumulación en hojas de manganeso, hierro, cobre, sodio, calcio, nitrógeno y fósforo; así como la acumulación en grano de hierro, potasio, fosforo y nitrógeno; por el contrario limita la absorción y acumulación de magnesio en hojas.

En relación a la calidad del cultivo, la aplicación del fitofortificante incrementa el peso de la mazorca, su longitud y grosor, así como el número de granos y el peso de estos, aumentando el contenido en proteína y reduciendo el del almidón.

Cultivo de maíz de Córdoba

En relación al suelo, la aplicación del fitofortificante no tiene efecto sobre el pH, el contenido de carbonatos, la capacidad de intercambio catiónico, la salinidad, la textura del suelo, el contenido de calcio intercambiable, el contenido en sodio intercambiable y el contenido de potasio intercambiable. Como efecto positivo, incrementa el fósforo asimilable, estabiliza la materia orgánica, incrementa el contenido de zinc, hierro y manganeso asimilable, limita las pérdidas de cobre del suelo, el carbono de la biomasa microbiana, la respiración, la actividad ureasa, fosfatasa y β -glucosidasa.

En relación al balance nutricional, la aplicación del fitofortificante incrementa la absorción y acumulación en hojas de manganeso, calcio, nitrógeno y fósforo; por el contrario limita la absorción y acumulación de sodio, zinc y magnesio en hojas, de cobre, sodio y potasio en grano.

7.2. Efecto del fitofortificante en las propiedades edáficas del suelo rizosférico

Cultivo de melón

Se ha observado que la liberación de nutrientes por parte de las bacterias provoca un ligero incremento en la salinidad del suelo rizosférico, debido al incremento de calcio, magnesio, potasio, y sulfatos. De igual modo, también se observa un mayor consumo de fósforo, nitrógeno, cobre y zinc por parte de la planta, promovido por una mayor liberación de estos elementos en el suelo por el efecto de las bacterias. Por su parte, hierro y manganeso asimilable aumentan en el suelo rizosférico y en las parcelas tratadas lo que indica que el fitofortificante incrementa la biodisponibilidad de estos elementos.

Los valores de CBM y de respiración antes del cultivo son en general bajos, indicando un bajo contenido de microorganismos y una baja actividad de los mismos en dichas parcelas antes de proceder al cultivo. Por el contrario, una vez aplicado el fitofortificante se produce un aumento muy significativo de los microorganismos y en su actividad, especialmente en la zona rizosférica donde su proliferación es mayor debido a unas mejores condiciones edáficas. De igual modo, en el suelo rizosférico de ambos tratamientos se produce un aumento en las actividades enzimáticas, el cual es significativamente mayor cuando aplicamos el fitofortificante.

En relación a la producción, el peso medio de los frutos es superior en las parcelas tratadas que en las control, al igual que lo es su diámetro axial como ecuatorial. Del mismo modo, tanto el número de frutos recolectados como el peso total de los mismo en las parcelas tratadas es superior que en las parcelas control, equivalente a 13866 y 12266 frutos/ha; y 11t ha⁻¹ y 8t ha⁻¹ respectivamente. Los frutos tratados estaban más maduros en el momento de la recolección y por lo tanto presentan cierta precocidad respecto a los recolectados en las parcelas control. El contenido de azúcares es superior en los frutos de las parcelas tratadas que en las control.

Cultivo de maíz de Yechar

Los resultados obtenidos han indicado que las bacterias podrían haber estado liberando nitratos y fosfatos solubles, los cuales han sido o bien tomados por la planta o lavados con los riegos. De igual modo, se observó un mayor consumo de fósforo y nitrógeno por parte de la planta, promovido por una mayor liberación de estos elementos en el suelo por el efecto de las bacterias. Finalmente, se observó que el fitofortificante incrementa la concentración de hierro y fósforo asimilable en los suelos rizosféricos, mientras que en el caso de manganeso y cobre es la misma actividad radicular la principal responsable de la concentración de estos elementos en su estado asimilable. La liberación de nutrientes observada se debe a que una vez aplicado el fitofortificante se produce un aumento muy significativo de los microorganismos y en su actividad, especialmente en la zona rizosférica donde su proliferación es mayor debido a unas mejores condiciones edáficas.

Finalmente destacar que el peso medio de las mazorcas es superior en las parcelas tratadas que en las control, 125 g y 105g respectivamente, siendo un 20% más largas y presentan un 24% más de granos. Por el contrario, el contenido en proteína como el de almidón son ligeramente superiores en las parcelas control que las tratadas.

7.3. Efecto de la dosis del fitofortificante en la lixiviación de nutrientes

En los suelos del cultivo de melón, los resultados han mostrado que las bacterias promueven las condiciones oxidantes del suelo, favoreciendo la liberación de cloruros, nitratos y nitritos; sodio, calcio, magnesio, amonio, y nitrógeno soluble, los cuales decrecen rápidamente con las primeras lixiviaciones. De igual modo, la aplicación de bacterias promueve la liberación de sulfatos y fosfatos, siendo esta mayor a medida que la dosis del fitofortificante aumenta, sin embargo su liberación es más progresiva que en los casos anteriores. Finalmente indicar que los resultados indican que las bacterias

actuarían progresivamente degradando los compuestos orgánicos del suelo dando lugar formas más solubles (carbono orgánico soluble), lo cual podría estar produciendo un incremento en la liberación de hierro, manganeso y zinc, una vez han sido movilizados los macronutrientes (Ca, Mg y K).

En los suelos del cultivo de maíz, los resultados han mostrado que, en este caso, la aplicación del fitofortificante disminuye la lixiviación de cloruros, sulfatos, nitratos y nitritos; sodio, calcio, magnesio, potasio, y carbono orgánico y nitrógeno soluble, mientras que la liberación de fosfatos y manganeso es mayor que en la columna control.

7.4. Efecto del fitofortificante en la producción y calidad del cultivo de melón bajo condiciones de cultivo comerciales

Según los resultados obtenidos, el tratamiento con *Pseudomonas fluorescens* produjo un aumento de sulfatos solubles, carbono orgánico, carbono de la biomasa microbiana y actividades β -glucosidasa y arilesterasa; mientras que disminuyen las actividades proteasa y fosfodiesterasa quizás debido a la liberación de la mayor parte de fósforo y nitrógeno orgánico durante el cultivo. Respecto a la liberación de los nutrientes se puede decir que la aplicación de bacterias produjo un aumento en la concentración de manganeso y potasio. Con respecto al nitrógeno total en el suelo, se observa un menor nivel en los suelos tratados con el fitofortificante, lo cual podría indicar un mayor consumo del mismo por parte del cultivo, tal y como muestra la mayor concentración de este elemento por las plantas tratadas.

Finalmente, la aplicación del fitofortificante produjo un ligero aumento de peso, un mayor diámetro, la pulpa más gruesa, una menor dureza de ésta, y mayor cantidad de grados Brix, por lo que los frutos tratados son ligeramente más dulces que los frutos en el control. Por su parte la producción se incrementó entorno al 10 % en los frutos recolectados y alrededor de un 30% en las toneladas recolectadas.

8. Referencias

8. Referencias

- Anamika A., Pal P. Singh S., and Rai J. P. 2014. Chromium phytoextraction from tannery effluent-contaminated soil by *Crotalaria juncea* infested with *Pseudomonas fluorescens*. *Environmental Science Pollution Research* 21:7938-7944
- Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. En: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney, (Eds.). *Methods of soil analysis, part 2*, 2nd edition. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. pp. 837-871.
- Andrade, G., DeLeij F. A., Lynch J. M. 1998. Plant mediated interactions between *Pseudomonas fluorescens*, *Rhizobium leguminosarum* and arbuscular mycorrhizae on pea. *Lett. Appl. Microbiol.* 26, 311-316.
- Andrades M. 1996. *Prácticas de Edafología y Climatología*. Universidad de la Rioja (Ed.). Logroño, La Rioja, España. 14-16 pp.
- Banerjee, M. R., Yesmin, L., Vessey, J. K. (2006): "Plant-growth promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides," in *Handbook of Microbial Biofertilizers*, M. K. Rai, Ed., pp. 137–181, Food Products Press, Binghamton, NY, USA.
- Bernard, R.G. 2012. Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. *Scientifica* 1, 1-15.
- Bhattacharyya, P. N., Jha D. K. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 28, 1327-1350.
- Boddey, R.M., Oliveira, O.C., Urquiaga, S., Reis V.M., Olovares, F.L., Baldani, B.L.D. and Dobereiner, J. 1995. Biological nitrogen fixation associated with sugar cane and rice: Contribution and prospects for improvements. *Plant and Soil* 174:195-209.
- Bonmatí, M., Ceccanti, B., Nannipieri, P. 1988. Protease extraction from soil by sodium pyrophosphate and chemical characterization of the extracts. *Soil Biology & Biochemistry* 30, 2113-2125
- Bowman, M.G., Tabatabai, M.A. 1978. Phosphodiesterase activity in soils. *Soil Science Society of America Journal* 42, 284-290.
- Burelle-Kokalis, N. 2003. Effects of transplant type, plant growth promoting rhizobacteria, and soil treatment on growth and yield of strawberry in Florida. *Plant Soil* 256, 273-280.
- Burelle-Kokalis, N., Vavrina, C. S., Kloepper, J. W. 2002. Amendment of muskmelon and watermelon transplant media with plant growth-promoting Rhizobacteria: Effect of seedling quality, disease and nematode resistance. *Hort Technology* 13, 476-482.
- Burt, R. 2004. Soil survey laboratory manual. Soil Survey Investigations Report nr 42 Version 4.0 November 2004. USDA-NRCS, Lincoln, Nebraska, USA.
- Chapman H. D. 1965. Cation Exchange Capacity. In C. A. Black (ed). *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, U.S.A. 2: 891-900.

- Chen, Y, Clapp, C. E., Magen, H. 2004. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role of organo-iron complex. *Soil. Sci. Plant Nutr.* 50, 1089-1095.
- Core, J. 2005. Grafting watermelon onto squash or gourd rootstock makes firmer, healthier fruit. *Agr. Res.* 53, 8-9.
- Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., Okon, Y. 2003. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Plant Sci.* 22, 107-149.
- Duchaufour, P.H. 1970. *Precis de pedologie.* p. 257-280. Masson, Paris, France.
- Esitken, A. S., Ercisli, H., Karlidag, L., Sahin, F. 2005. Potential use of plant promoting rhizobacteria (PGPR) in organic apricot production. En Libek A, Kaufmane E, Sasnauskas A (Eds.) *Proc. Int. Sci. Conf. of Environmentally Friendly Fruit Growing.* Tartu University Press. Tartu, Estonia. pp. 90-97.
- F.A.O.-I.S.R.I.C. 2006. *Guidelines for Soil Description.* 4th edition (revised). F.A.O. Roma, 97pp.
- Glick, B.R., 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Can. J. Microbiol.* 41, 109-117.
- Harish, S., Kavino, M., Kumar, N., Balasubramanian, P., Samiyappan, R., 2009a. Induction of defense-related proteins by mixtures of plant growth promoting endophytic bacteria against Banana bunchy top virus. *Biol. Control* 51, 16-25.
- Harish, S., Kavino, M., Kumar, N., Samiyappan, R., 2009b. Differential expression of pathogenesis-related proteins and defense enzymes in banana: interaction between endophytic bacteria banana bunchy top virus and *Pentalonia nigronervosa*. *Biocontr. Sci. Technol.* 19, 843-857.
- Hayat, R., Ali, S., Amara, U., Khalid, R., Ahmed, I. 2010. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion. A review. *Ann. Microbiol.* 60, 579-598.
- Horneck D.A., Sullivan D.M., Owen J.S., y Hart J.M. 2011. *Soil Test Interpretation Guide.* Oregon State University. 12pp.
- Jeffery, G.H., J. Basset, J., J. Mendham, J., and R.C. Denney, R.C. 1989. *Vogel's textbook of quantitative chemical analysis.* p. 702-703. Longman Scientific & Technical, Bath, UK.
- Kandeler, E., Stemmer, M., Klimanek, E.M. 1999. Response of soil microbial biomass, urease and xylanase within particle size fraction to long-term management. *Soil Biology & Biochemistry* 31, 261-273.
- Kavino, M., Harish, S., Kumar, N., Saravanakumar, D., Damodaran T., Soorianathasundaram, K. and Samiyappan, R. 2007. Rhizosphere and endophytic bacteria for induction of systemic resistance of banana plantlets against bunchy top virus. *Soil Biology and Biochemistry*, 39: 1087-1098.
- Knight, T. J. Langston-Unkefer, P. J. 1988. Enhancement of symbiotic dinitrogen fixation by a toxin-releasing plant pathogen. *Science* 241,951-954.
- Li, D., Alexander, M. 1988. Co-inoculation with antibioticproducing bacteria to increase colonization and nodulation by rhizobia. *Plant Soil* 108, 211-219.
- Linsay W.L. y Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 42-428.

- Loster, G.E. 2008. Antioxidant, sugar, mineral and phytonutrient concentrations across edible fruit tissues of orange-fleshed honeydew melon (*Cucumis melo* L). *J. Agr. Food Chem.* 56, 3694-3698.
- Lucy, M., Reed, E., Glick, B. R. 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria, *Antonie van Leeuwenhoek*, vol. 86, n° 1, pp. 1–25.
- Madrid, A., R. Madrid, R., and J.M. Vicente, J.M. 1996. *Fertilizantes*. 436 p. AMV Ediciones y Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Marek-Kozaczuk, M., Skorupska, A. 2001. Production of B-group vitamins by plant growth-promoting *Pseudomonas fluorescens* strain 267 and the importance of vitamins in the colonization and nodulation of red clover. *Biol. Fert. Soils* 33,146-151.
- Nannipieri, P., Johnson, R.L., Paul, E.A. 1978. Criteria for measurement of microbial growth and activity in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 10, 223-229.
- Naseby, L. 1998. Impact of wild-type and genetically modified *Pseudomonas fluorescens* on soil enzyme activities and microbial population structure in the rhizosphere of pea. *Mol. Ecol.* 7, 617-625
- Olle, M. and Williams, I.H. 2013. Effective microorganisms and their influence on vegetable production – a review, *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 88:4, 380-386, DOI: 10.1080/14620316.2013.11512979
- Peech, M. 1965. Hydrogen-ion activity. C. A. Black (ed.). *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, U.S.A. 2, 914-916.
- Perez-Sirvent, C., Martinez-Sanchez, M.J., Vidal, J., Sanchez, A., 2003. The role of low-quality irrigation water in the desertification of semi-arid zones in Murcia, SE Spain. *Geoderma* 113:109-125.
- Porta J., López M. y Roquero C. 1999. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. (2º ed) Mundi Prensa. Madrid. 849 pp.
- Rodríguez, M. N., Miguel-Chávez, R., García, J. L. Cué, Benavides, A. 2013. Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en el cultivo de melón (*Cucumis melo*). *Interciencia*, 38,125-131.
- Roig, A., Romero, M., Lax, A., Fernández, F.G. 1980. Estudio comparativo de métodos de determinación de capacidad de cambio catiónica en suelos calizos. *Anales de Edafología y Agrobiología* 39, 2021-2032.
- Saravana-Kumar D., Samiyappan R., 2007. ACC deaminase from *Pseudomonas fluorescens* mediated saline resistance in groundnut (*Arachis hypogea*) plants. *J Appl Microbial* 102, 1283–1292
- Soil Survey Staff. 2004. *Soil survey laboratory methods manual*. Version No. 4.0. USDA NRCS. Soil Survey Investigations Report N° 42. U.S. Govt. Print. Office, Washington, DC.
- Tabatabai, M.A. 1982. Soil Enzymes. En: Page, A.L., Millar, E.M., Keeney, D.R. (Eds.). *Methods of Soil Analices*. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Soil Science Society of America, Inc, Madison, pp. 903-947.
- Tabatabai, M.A., Bremner, J.M. 1969. Use of *p*-nitrophenyl phosphate for assay of a soil phosphatase activity. *Soil Biology & Biochemistry* 1, 301-307.

- Thiagalingam, K. 2000. Soil and plant sample collection, preparation and interpretation of chemical analysis. Australian Contribution to A National Agricultural Research System. Adelaide, Australia, 49 pp.
- Urbano P. 2001. Tratado de fitotecnia general. Ed. Mundi Prens. Madrid 895 pp.
- USEPA, 1996. Method 3052. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. Washington, DC.
- Vance, E.D., Brookes, P.C., Jenkinson, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry* 19, 703-707.
- Vansuyt, G., Robin, A., Briat, J. F., Curie, C., and Lemanceau, P. 2007. Iron acquisition from Fe-pyoverdine by *Arabidopsis thaliana*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 20:441-447.
- Watanabe, F.S., Olsen, S.R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO_3 extracts from soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29, 677-678.
- Yang, J., Kloepper, J. W., Ryu, C. 2009. Rhizosphere bacterial help plants tolerate abiotic stress. *Trends Plant Sci.* 14, 1-4.
- Zornoza, R., Landi, L., Nannipieri, P., Renella, G. 2009. A protocol for the assay of arylphosphatase activity in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 41, 659-662.
- Zwikel, S., Lavee, H., and Pariente, S. 2007. Temporal evolution of salts in Mediterranean soils transect under different climatic conditions. *Catena* 70:282-295.

Anexo Fotográfico

Anexo Fotográfico

Fotografías correspondientes al capítulo 3: melón



Foto 1. Establecimiento de parcelas (11 de Junio de 2014)



Foto 2. Toma de muestras de suelo



Foto 3. Parcela con el cultivo de melón (12 de Julio de 2014)



Foto 4. Parcela con el cultivo de melón (14 de Agosto de 2014)



Foto 5. Parcela con el cultivo de melón (21 de Agosto de 2014)



Foto 6. Parcela con el cultivo de melón (4 de Septiembre de 2014)



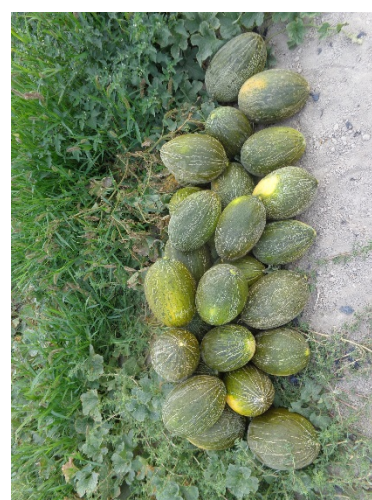
Foto 7. Planta para muestreo de material vegetal



Fotos 8 y 9. Hoja y fruto muestreados para análisis nutricional



Fotos 10, 11 y 12. Melones parcelas control 1º corte



Fotos 13, 14 y 15. Melones parcelas control 2º corte



Fotos 16, 17 y 18. Melones parcelas control 3º corte



Fotos 19, 20 y 21. Melones parcelas tratadas 1º corte



Fotos 22, 23 y 24. Melones parcelas tratadas 2º corte



Fotos 25, 26 y 27. Melones parcelas tratadas 3º corte

Fotografías correspondientes al capítulo 3: maíz de Yechar



Foto 28. Establecimiento de parcelas (11 de Junio de 2014)



Foto 29. Toma de muestras de suelo



Foto 30. Parcela con el cultivo de maíz (25 de Julio de 2014)



Foto 31. Parcela con el cultivo de maíz (9 de Septiembre de 2014)



Foto 32. Parcela con el cultivo de maíz (24 de Octubre de 2014)



Foto 33. Plantas de maíz para muestreo de material vegetal

Fotografías correspondientes al capítulo 3: maíz de Córdoba



Foto 34. Establecimiento de parcelas (30 de Abril de 2014)



Foto 35. Toma de muestras de suelo



Foto 36. Parcela con el cultivo de maíz (22 de Julio de 2014)



Foto 37. Parcela después el cultivo de maíz (3 de Septiembre de 2014)



Foto 38. Plantas de maíz para muestreo de material vegetal

Fotografías correspondientes al capítulo 4: maíz de Yechar



Foto 39. Parcelas de maíz recién plantadas



Foto 40. Parcelas durante el tratamiento del fitofortificante



Foto 41. Parcelas a mitad del ensayo



Foto 42. Muestreo de suelo



Foto 43. Suelo rizosférico



Foto 44. Partes de la planta muestreadas

Fotografías correspondientes al capítulo 4: melón



Foto 45. Parcelas de melón recién plantadas



Foto 46. Parcelas durante el tratamiento del fitofortificante



Foto 47. Parcelas a mitad del ensayo



Foto 48. Muestreo de suelo



Foto 49. Separación de partes de la planta para análisis

Fotografías correspondientes al capítulo 5: maíz de Yechar

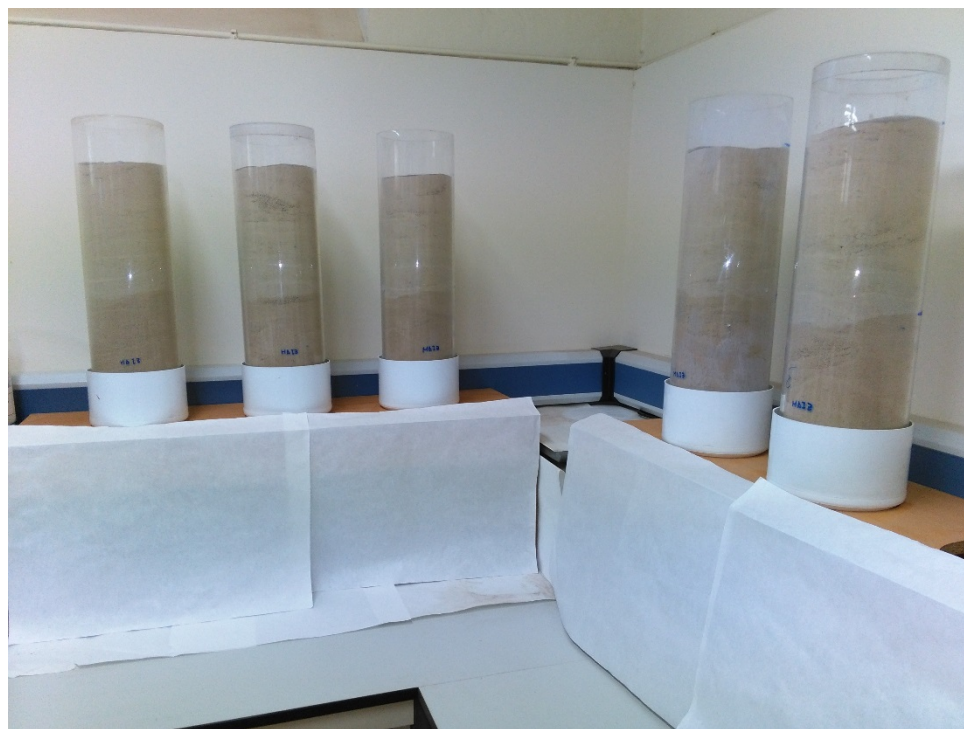


Foto 50. Montaje de columnas de lixiviación



Foto 51. Aplicación de bacterias y humectación de las columnas

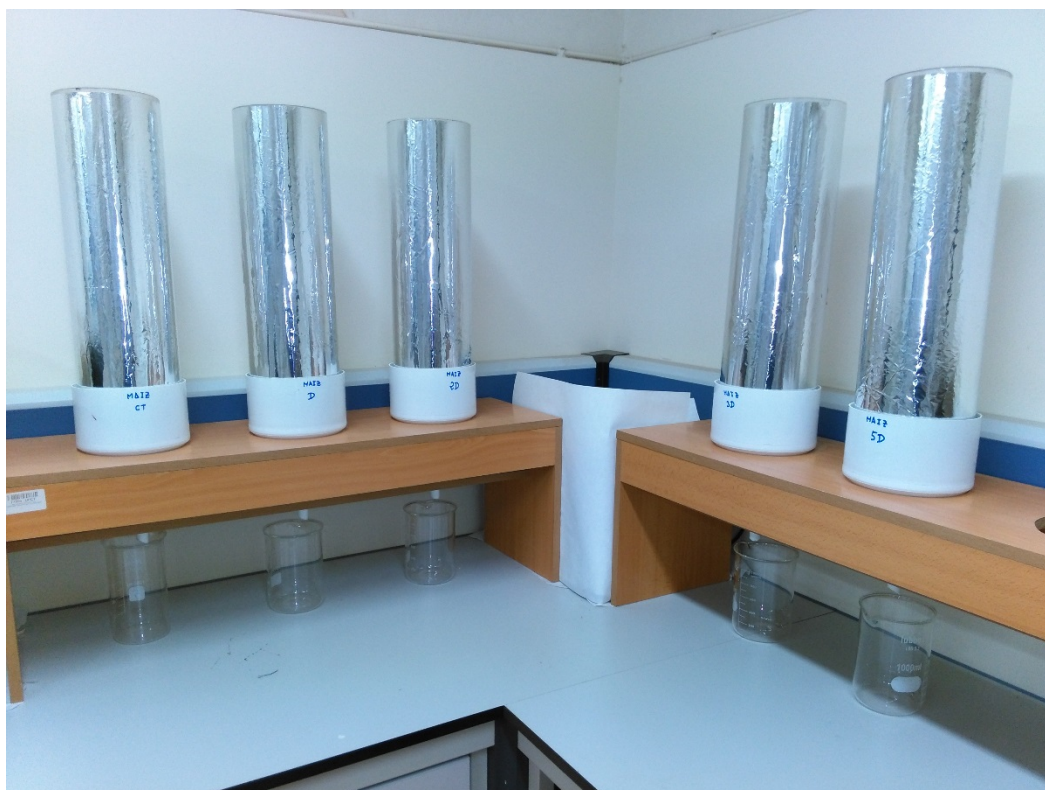


Foto 52. Sellado de columnas y comienzo de ensayo de lixiviación

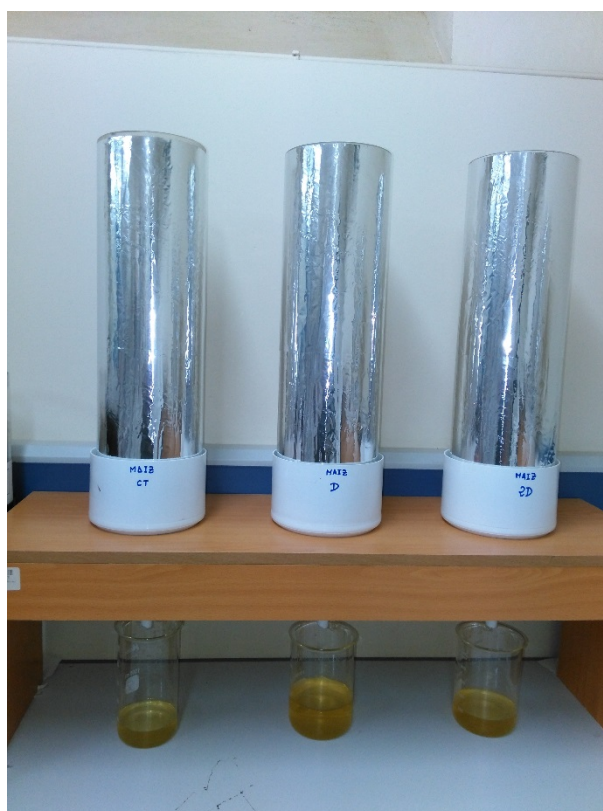


Foto 53. Lixiviados de las columnas

Fotografías correspondientes al capítulo 5: melón



Foto 54. Montaje de columnas de lixiviación

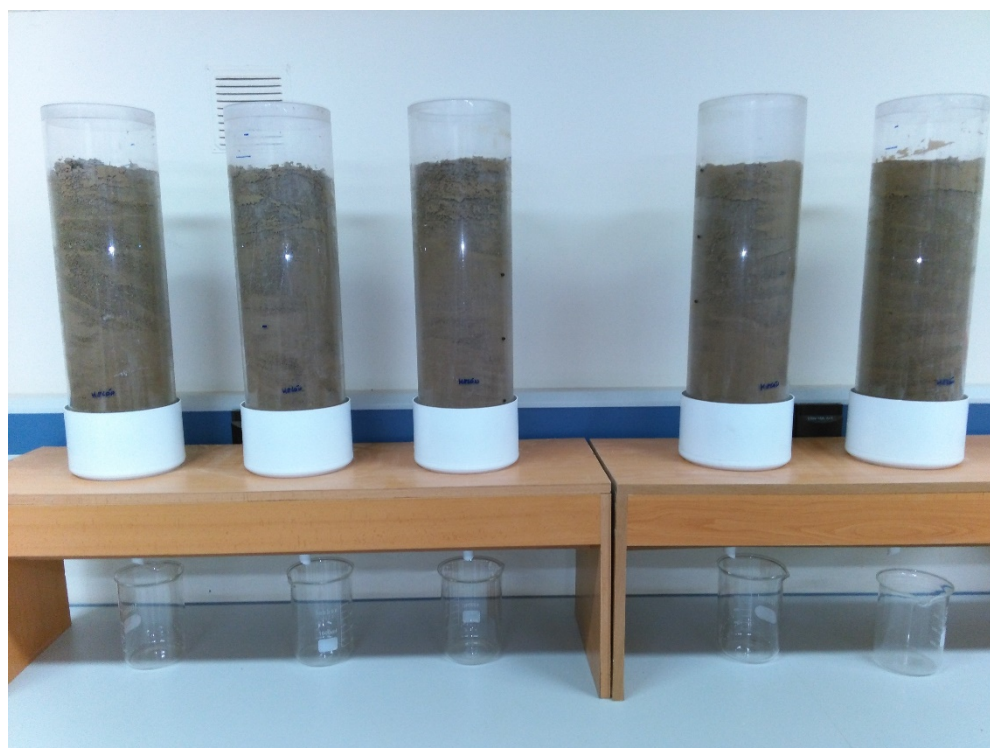


Foto 55. Aplicación de bacterias y humectación de las columnas



Foto 56. Sellado de columnas y comienzo de ensayo de lixiviación



Foto 57. Detalle de los lixiviados de las columnas

Fotografías correspondientes al capítulo 6: melón



Foto 58. Parcelas de estudio antes de la aplicación del fitofortificante (7/04/2016)



Foto 59. Plantas de melón durante el muestreo inicial antes de la aplicación del fitofortificante (7/04/2016)



Foto 60. Parcelas de estudio en el momento de la aplicación del fitofortificante (15/04/2016)



Foto 61. Plantas de melón en el momento de aplicación del fitofortificante (15/04/2016)



Foto 62. Planta control (20/04/2016)



Foto 63. Planta tratada (20/04/2016)



Foto 64. Detalle de raíces de planta control (27/04/2016)



Foto 65. Planta control (27/04/2016)



Foto 66. Raíces de plantas tratadas (27/04/2016)



Foto 67. Planta tratada (27/04/2016)



Foto 68. Detalle de raíces de plantas control (4/05/2016)



Foto 69. Planta control (4/05/2016)



Foto 70. Detalle de raíces de planta con tratamiento (4/05/2016)



Foto 71. Planta tratada (4/05/2016)



Foto 72. Planta control (11/05/2016)



Foto 73. Planta tratada (11/05/2016)



Foto 74. Recolección melón en parcelas control (21/06/2016)

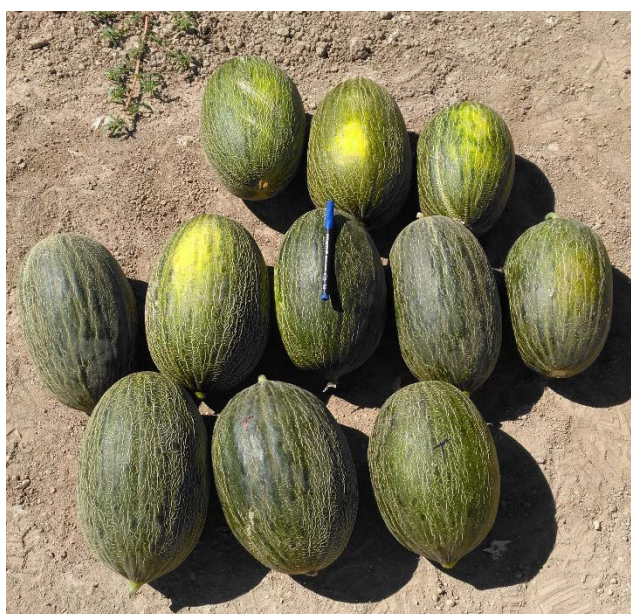


Foto 75. Recolección melón en parcelas tratadas (21/06/2016)

CORRECCIONES Y FE DE ERRATAS

PAGINA	LINEA	DICE	DEBE DECIR
18	11	"hoy en día"	"a fecha de finalización de la tesis"
18	14	"----"	"En 2017, se publicó el Real Decreto 999/2017, de 24 de noviembre sobre productos fertilizantes que modifica al Real Decreto 506/2013, de 28 de junio sobre productos fertilizantes. En este Real Decreto ya se regulan los microorganismos como fertilizantes."
49	21	"hierro"	"manganeso"
128	29	"el"	"las"
136	5	"fruto"	"grano"
136	9	"fruto"..."magnesio"	"grano"..."calcio"
136	14	"fruto"	"grano"
171	7	"4.45 y 4.46"	"4.46 y 4.47"
171	8	"control"	"tratada con el fitofortificante"
171	8/9	"tratadas con el fitofortificante"	"control"
220	11	"hierro"	"manganeso"